

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

«На правах рукопису»

УДК 621.762.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) **В. І. Мазур**
(ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

за освітньо-професійною програмою

Нанотехнології та комп’ютерний дизайн матеріалів

зі спеціальності

132 Матеріалознавство

на тему: Вплив природи пластифікатору на формування структури та властивостей твердого сплаву типу ВК

Виконала магістрантка II курсу, групи ФК-81-мп

Ткачук Тетяна Володимирівна

(підпис)

Науковий керівник

доцент, к. т. н. Богомол Ю. І.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант

(Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях)

доцент, к. т. н., Арламов О. Ю.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант

(Економічний розділ)

доцент, к. е. н., Петренко К. В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

доцент, к. т. н., Бірюкович Л. О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань
Магістрант _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет	Інженерно-фізичний
Кафедра	Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
Освітньо-професійна програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Вибірковий блок	Матеріалознавство композитів і покриттів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о. завідувача кафедри

Мазур В. І.
(прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

“ ”

_____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я

на магістерську дисертацію магістранту

Ткачук Тетяні Володимирівні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації: Вплив природи пластифікатору на формування структури та властивостей твердого сплаву типу ВК.
2. Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, Богомол Ю.І., затверджений наказом по університету від 12 листопада 2019 року № 3890-с.
3. Строк подання дисертації: 16.12.2019.
4. Вихідні дані до дисертації: Аналіз сучасного стану виробництва матеріалів на основі твердих сплавів та впровадження нових методів спікання повинно дати можливість сформулювати шляхи отримання виробів з твердих сплавів з вищими техніко-економічними показниками. Технологічні процеси повинні забезпечувати певний рівень найважливіших властивостей виробів на

основі твердих сплавів типу ВК, що залежать від складу вихідного порошку, виду та кількості пластифікатору, а також його структури, що формується у процесі спікання.

Організаційно-економічні засади повинні забезпечувати оцінку науково-технічного ефекту не нижчий за 5.

Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації повинні відповідати нормативним вимогам.

5. Зміст пояснювальної записки:

а) провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання твердих сплавів типу ВК та розробити технологічну схему для виробництва матеріалів з порошку ВК8 електронно-променевим методом;

б) отримати зразки електронно-променевим методом та дослідити їх структуру, фазовий склад і механічні властивості;

в) визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;

г) розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

д) провести розрахунок кількості електроенергії, необхідної для проведення експериментальної частини;

е) обґрунтувати необхідну кількість робітників, розмір фонду їх заробітної плати, визначити показники продуктивності праці;

ж) довести ефективність дисертації та розробити стартап-проект.

6. Перелік графічного матеріалу:

а) технологічна схема отримання виробів з порошків твердого сплаву ВК8 методом електронно-променевого спікання;

б) макро- та мікроструктури спечених зразків з використанням різних видів та кількості пластифікатору;

в) макромеханічні характеристики одержаних зразків;

г) рентгенограми.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Петренко К. В., к. т. н., доцент		
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Арламов О. Ю., к. т. н., доцент		

8. Дата видачі завдання: 21.09.2018.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Збір та аналізування інформації щодо видів пластифікаторів та методів виготовлення твердих сплавів типу ВК. Написання літературного огляду.	28.01.2019	
2	Підготовка порошків та пластифікаторів	08.02.2019	
3	Формування зразків з порошків твердого сплаву ВК8	14.02.2019	
4	Дослідження спресованих зразків на формівність	18.02.2019	
5	Спікання зразків з порошків твердого сплаву ВК8 електронним променем в установці СВ-112	20.02.2019	
6	Визначення щільності зразків та усадки	06.03.2019	
7	Виготовлення шліфів та проведення досліджень структури спечених зразків	15.05.2019	
8	Визначення твердості та мікротвердості	30.09.2019	
9	Проведення рентгенофазових досліджень	20.11.2019	
10	Оформлення результатів та написання пояснювальної записки	06.12.2019	

Магістрантка

Т.В. Ткачук

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник дисертації

Ю.І. Богомол

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація вміщує: 87 стор., 27 рис., 22 табл., 45 джерел.

ВК8, ГУМОВИЙ КЛЕЙ, ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ СПІКАННЯ, НАТУРАЛЬНИЙ ТА СИНТЕТИЧНИЙ КАУЧУК, ПЛАСТИФІКАТОРИ, ПОЛІЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ, ТВЕРДІ СПЛАВИ.

У даній роботі викладено огляд сучасного стану теорії і технології отримання виробів з твердих сплавів.

Метою роботи є дослідження впливу природи та кількості пластифікатора на формування структури та властивостей твердого сплаву ВК8 спеченого електронно-променевим методом.

Методи дослідження:

- металографічний аналіз (оптична мікроскопія);
- електронна мікроскопія;
- рентгенівський фазовий аналіз;
- дослідження механічних властивостей.

Дослідження мікроструктури спечених зразків ВК8 показало наявність дрібних зерен карбіду вольфраму світло-сірого кольору, між якими знаходиться кобальт темно-сірого забарвлення. Розмір зерна карбіду вольфраму у всіх зразках становить близько 2 мкм. На деяких мікроструктурах наявна μ -фаза сірого кольору, що має вигляд окремих світлих ділянок з сірим вкрапленням, що має значно більший розмір за розмір зерна карбіду вольфраму.

Встановлено, що механічні властивості зразків ВК8 залежать від виду пластифікатора та його кількості.

ABSTRACT

The work contains: 87 p., 27 fig., 22 tabl., 45 refer.

WC8, RUBBER GLUE, ELECTRONIC BEAM SINTERING, NATURAL AND SYNTHETIC RUBBER, PLASTIFICATORS, POLYETHYLENGLYCOL, CEMENTED CARBIDE.

This paper provides an overview of the current state of the theory and technology of production of hard alloy products.

The purpose of the study is to study the structure and properties of WC8 hard alloys manufactured by electron beam method using different types of plasticizers.

Research methods:

- metallographic analysis (optical microscopy);
- electron microscopy;
- X-ray phase analysis;
- study of mechanical properties.

Investigation of the microstructure of sintered WC8 specimens revealed the presence of small grains of light gray tungsten carbide, between which is a dark gray cobalt. The tungsten carbide grain size in all samples is about 2 microns. On some microstructures, the μ -phase is gray in appearance, with the appearance of separate light areas with gray inclusions, which is much larger than the grain size of tungsten carbide.

It was found that the mechanical properties of the WC8 samples depend on the type of plasticizer and its quantity.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 87 стр., 27 рис., 22 табл., 45 источников.

ВК8, РЕЗИНОВЫЙ КЛЕЙ, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ СПЕКАНИЕ, НАТУРАЛЬНЫЙ И СИНТЕТИЧЕСКОЙ КАУЧУК, ПЛАСТИФИКАТОРЫ, ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ, ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ.

В данной работе изложен обзор современного состояния теории и технологии получения изделий из твердых сплавов.

Целью работы является исследование влияния природы и количества пластификатора на формирование структуры и свойств твердого сплава ВК8 спеченного электронно-лучевым методом.

Методы исследования:

- металлографический анализ (оптическая микроскопия)
- электронная микроскопия;
- рентгеновский фазовый анализ;
- исследование механических свойств.

Исследование микроструктуры спеченных образцов ВК8 показало наличие мелких зерен карбида вольфрама светло-серого цвета, между которыми находится кобальт темно-серого окраса. Размер зерна карбида вольфрама во всех образцах составляет около 2 мкм. На некоторых микроструктурах имеется μ -фаза серого цвета, имеет вид отдельных светлых участков с серым вкраплением, что имеет значительно больший размер зерна карбида вольфрама.

Установлено, что механические свойства образцов ВК8 зависят от вида пластификатора и его количества.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	14
1.1 Виготовлення твердих сплавів типу ВК	16
1.2 Види пластифікаторів	22
1.2.1 Синтетичний та натуральний каучук	24
1.2.2 Поліетиленгліколь.....	26
1.2.3 Гумовий клей.....	27
1.3 Висновки та постановка задач дослідження.....	28
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1 Матеріали для виготовлення виробів.....	30
2.2 Технологічний процес виготовлення твердого сплаву ВК8 методом електронно-променевого спікання.....	30
2.2.1 Вихідні матеріали.....	31
2.2.2 Формування зразків.....	32
2.2.3 Пресування зразків.....	33
2.2.4 Сушка зразків	33
2.2.5 Спікання електронним променем.....	34
2.3 Формівність пресовок виготовлених з твердого сплаву ВК8	36
2.4 Металографічні дослідження.....	36
2.5 Дослідження твердості та мікротвердості твердого сплаву ВК8	37
2.6 Рентгенофазовий аналіз	37
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	39
3.1. Дослідження формівності пресовок виготовлених з твердого сплаву ВК8	39
3.2 Визначення щільності зразків та усадки.....	41

3.3 Дослідження структури композитів	44
3.4 Дослідження фазового складу	48
3.5 Дослідження твердості та мікротвердості	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	53
4.2 Безпека технологічного процесу та обладнання	55
4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	57
4.4 Висновки за розділом.....	58
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	59
6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	62
6.1 Науково-технічна актуальність магістерської роботи	62
6.2 Мета і завдання дипломної роботи	62
6.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження.....	63
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	65
7.1 Витрати на оплату праці	65
7.2 Єдиний соціальний внесок	66
7.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі	66
7.4 Витрати на спеціальне обладнання та прилади.....	67
7.5 Витрати на службові відрядження	68
7.6 Інші прямі невраховані витрати	68
7.7 Накладні витрати.....	68
7.8 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації	69
7.9 Економічна ефективність магістерської дисертації	70
7.10 Висновки за розділом.....	71
8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	72

	11
8.1 Актуальність	72
8.2 Мета і завдання стартап-проекту	72
8.3 Опис ідеї проекту	73
8.4 Технологічна перевірка ідеї проекту	73
8.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	74
8.6 Розроблення ринкової стратегії проекту	78
8.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	79
8.8 Формування системи збуту	80
8.9 Висновки до розділу	81
ВИСНОВКИ	82
CONCLUSIONS	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	84

ВСТУП

Розвиток і вдосконалення технологічних процесів багатьох галузей господарства нерозривно пов'язані із застосуванням твердих сплавів, що сприяє суттєвому підвищенню експлуатаційних характеристик інструменту і продуктивності праці.

Тверді сплави являють собою композиційні матеріали особливого класу, що володіють високою твердістю, зносостійкістю і міцністю, які зберігаються за порівняно високих температур. Коротко можна визначити їх як композити, що складаються з тугоплавкої сполуки, як правило, карбиду, і порівняно легкоплавкого металу.

Вироби з твердих сплавів знаходять все більше застосування в різних галузях техніки (середній показник межі міцності на згин для твердих сплавів коливається від 1600 МПа до 2500 МПа за твердості від 85 HRA до 91 HRA) в якості ріжучих, зносостійких, бурових або штампових інструментів, а також для роботи в умовах агресивних середовищ і підвищених температур [1].

Для задоволення все більш зростаючих технологічних потреб потрібні вироби, одержувані за найменшу кількість операцій за мінімальної подальшої обробки. Технологія порошкової металургії є найбільш прийнятною для вирішення різних технічних завдань не тільки через відносну дешевизну і простоти основних технологічних операцій, які забезпечують отримання якісних виробів необхідної форми, а й внаслідок специфічних властивостей твердосплавних матеріалів.

Однак властивості твердих сплавів безпосередньо пов'язані з вуглецевим балансом, який визначається поведінкою пластифікатора в процесі спікання твердосплавних виробів, а також самим методом спікання. З моменту отримання твердих сплавів була відзначена значна неоднорідність їх якості, повністю не усунена до теперішнього часу. Пластини однієї марки сплаву в однакових умовах роботи розрізняються експлуатаційною стійкістю в три-п'ять

разів залежно від складу і умов їх спікання, однорідності за розміром складових сплаву, а також виду пластифікатору [2].

На даний момент не існує пластифікатору, який задовольняв би усі потреби. Крім того, в даний момент відсутні комплексні порівняльні дані впливу різних пластифікаторів на процеси пресування і спікання твердосплавних виробів, які допомогли б виявити тенденції і пояснити механізми впливу видів пластифікаторів на властивості спресованих і спечених виробів.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Металокерамічні тверді сплави — це сплави із особливо твердих тугоплавких з'єднань у поєднанні з в'язким зв'язуючим металом.

Найбільше практичне застосування для виробництва металокерамічних твердих сплавів мають карбіди (WC , TiC і TaC). Зв'язуючи металом у спечених твердих сплавах є кобальт, а інколи нікель і залізо.

Процеси, що відбуваються при утворенні сплавів на основі монокарбіду вольфраму, можна розглядати за допомогою діаграми стану системи $W-C-Co$ (рис 1.1).

Система $W-C-Co$ повністю не вивчена, але з урахуванням наявних в літературі даних і знання подвійних систем компонентів дозволяє судити про характер діаграми стану цієї системи.

Досить докладно досліджували систему $W-C-Co$ методами рентгенографічного та частково термічного аналізу Раутал і Нортон.

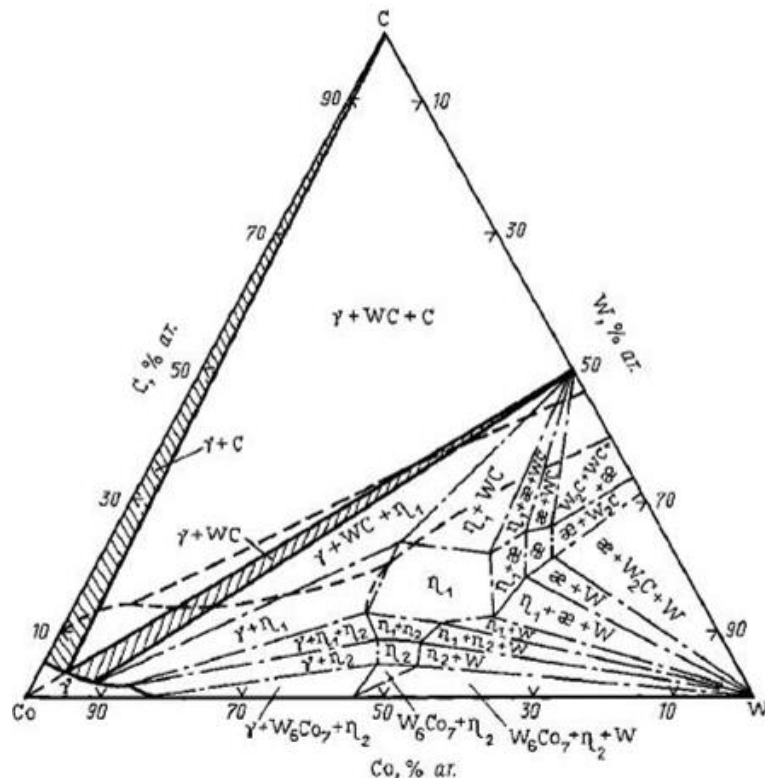


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи $W-C-Co$ [3]

На рисунку 1.2 зображено Спрощений розріз по лінії WC–Co діаграми стану W–C–Co

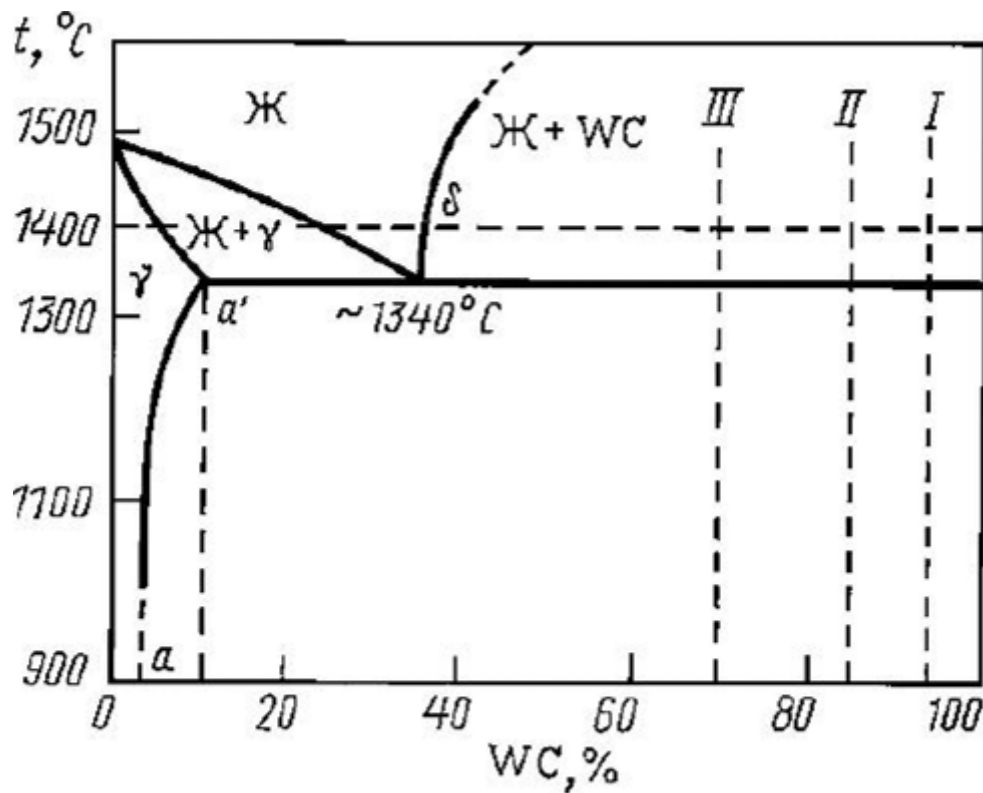


Рисунок 1.2 – Спрощений розріз по лінії WC–Co діаграми стану W–C–Co
(Вертикалі проведені для сплавів: I – ВК6; II – ВК15; III – ВК30) [3]

В результаті аналізу і зіставлення наявних в літературі даних про систему W–C–Co можна дати коротку узагальнену характеристику системи W–C–Co, яка допоможе при розгляді процесу спікання і структуроутворення твердих сплавів:

- а) однофазна область твердого розчину у на діаграмі вказує на суттєву розчинність вольфраму і вуглецю в кобальті;
- б) потрійна евтектика $\gamma + \text{WC} + \text{C}$ плавиться за температури 1298 °C;
- в) в системі W–C–Co утворюються подвійні і потрійні евтектики. Стабільна подвійна евтектика $\text{WC} + \gamma$ має голчастий вигляд;

г) гранична розчинність карбіду вольфраму в кобальті за температури плавлення евтектики становить приблизно 10 мас. % або 15 мас. %. Зі зниженням температури розчинність карбіду вольфраму в кобальті різко падає.

Гранична розчинність карбіду вольфраму в кобальті в твердому стані за даними різних авторів також розходиться (від 4 до 22% за температури від 1250 °C до 1300 °C). Можливо, ці розбіжності пояснюються різними умовами проведення експериментів і коливаннями вуглецю в складі досліджуваних зразків. У зв'язку з суперечливими даними по розчинності за допомогою мікроскопічного і рентгенографічного методів були уточнені межі розчинності карбіду вольфраму в кобальті. Встановлено, що при температурі плавлення евтектики гранична розчинність карбіду вольфраму в кобальті становить близько 10% і змінюється в залежності від середовища спікання. При отриманні зразків сплавів спіканням в вакуумі, що не виключає можливість зневоднення, розчинність становить близько 15%.

1.1 Виготовлення твердих сплавів типу ВК

Основний метод виготовлення виробів з таких матеріалів - порошкова металургія. Відмінність цієї технології від лиття в тому, що принаймні один з компонентів в процесі спікання – остаточної операції отримання матеріалу – знаходиться в твердому стані. Технологія порошкової металургії для отримання деяких матеріалів є єдино можливою. Це пов'язано з високими температурами плавлення, а також з розкладанням під час нагрівання деяких компонентів (наприклад, карбіду вольфраму) ще до їх розплавлення [3].

Вихідними матеріалами для виготовлення порошків ВК слугує вольфрамовий ангідрид (WO_3) який відновлюють і карбідізують (найчастіше використовуючи сажу) та порошок оксиду кобальту (Co_3O_4) який відновлюють у водні. Отримані таким чином порошки карбіду вольфраму і кобальту змішують. Змішування твердих тугоплавких сполук перехідних металів з металом зв'язки виконується в кульових млинах протягом досить тривалого

часу (від 3 діб до 8 діб) в рідкому середовищі (спирті). Призначення змішування – одержання однорідної шихти. Проведення процесу змішування із застосуванням спирту сприяє кращому розподілу частинок металу серед частинок тугоплавких сполук, запобігає утворенню скупчення частинок і налипанню суміші на стінки барабана та інтенсифікує процес розмелювання. Також, останнім часом, для змішування твердосплавних сумішей використовують вібраційні млини і атритори. По закінченні розмелювання одержану суміш висушують, усереднюють та просівають [4].

Найбільш поширеним варіантом технології виробництва твердих сплавів є традиційна технологічна схема, що включає операції підготовки початкових матеріалів і шихти, формування заготовок з твердосплавних шихт і подальшого спікання. Оскільки спікання більшості твердих сплавів відбувається за наявності рідкої металевої фази, досягається практично повне ущільнення матеріалу, якщо забезпечені умови хорошого змочування компонентів і формування структури, що зумовлює достатньо високі фізико-механічні і експлуатаційні властивості виробів.

Типова технологічна схема виготовлення сплаву WC – Co зображена на рисунку 1.3.

Традиційний варіант технології дозволяє отримувати вироби в масовому масштабі з кінцевою формою і розмірами [5]. Проте у ряді випадків, коли основною метою є отримання безпористих виробів з особливих марок твердих сплавів, що складаються з компонентів, які практично не спікаються в звичайних умовах, використовують інші технологічні варіанти, такі як гаряче пресування або гаряче пресування попередньо спресованих, а іноді і спечених заготовок. Завдяки цьому вдається за рахунок зменшення пористості від 0,2 % до 10^{-4} % в 1,5 рази підвищити фізико-механічні характеристики матеріалу. Іноді для отримання твердосплавних виробів складної форми проводять механічну обробку заздалегідь спечених за температури від 800 °C до 1000 °C заготовок (пластин, стрижнів), з яких різанням і шліфуванням виготовляють

вироби необхідних форм і розмірів, які потім піддають остаточному спіканню і абразивній обробці до розміру [6].

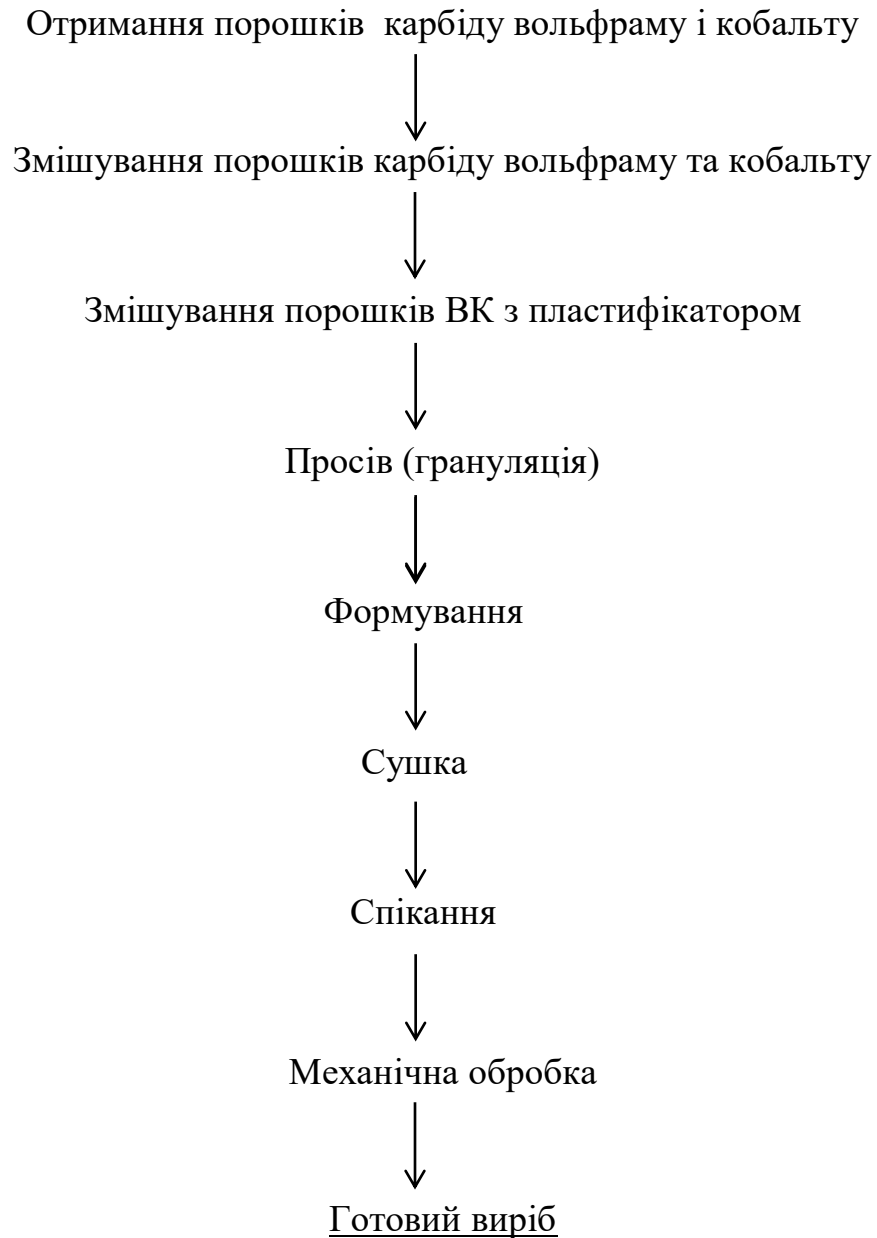


Рисунок 1.3 – Технологічна схема виготовлення виробів з твердого сплаву типу ВК

Якщо детально розглянути процеси, що відбуваються під час спікання в системі WC – Co, то можна спостерігати наступне:

а) за температури від 200 °С до 500 °С видаляється пластифікуюча речовина;

б) за температури від 500 °С до 700 °С відновлюються оксиди кобальту та вольфраму;

в) за температури від 800 °С до 1000 °С зварюються окремі зерна карбідів в місцях їх контакту, що супроводжується деяким зміцненням виробу;

г) за температури від 1150 °С до 1300 °С утворюються тверді розчини на основі кобальту, процес спікання супроводжується досить активною усадкою. На початку нагріву спікання відбувається в твердому стані без участі рідкої фази, оскільки точка плавлення найбільш легкоплавкого компоненту – кобальту – складає 1490 °С;

д) досягши температури плавлення евтектики, що складається з кобальту з розчиненими в ньому карбідом вольфраму і вуглецем, з'являється рідка фаза і починають діяти сили поверхневого натягу, сприяючи переміщенню зерен карбіду вольфраму у напрямку їх щільнішої упаковки. Процес протікає в інтервалі температур від 1300 °С до 1400 °С і завершується майже повним ущільненням порошкового виробу;

е) з підвищенням температури спікання від 1400 °С до 1500 °С або збільшенням ізотермічної витримки ростуть зерна карбіду вольфраму, розвиваються контакти між ними і утворюється так званий карбідний скелет. Зростання зерен карбіду здійснюється, в основному, перекристалізацією через рідку фазу, що викликається наявністю в початковому порошку зерен карбіду різної величини, що володіють різною поверхневою енергією. Причиною перекристалізації може бути не тільки наявність кристалів, різних по величині, але також і кристалів, що володіють різним ступенем досконалості кристалічної решітки. Кристали карбіду вольфраму з найбільш нерівноважними ґратками розчиняються в першу чергу, утворений ними твердий розчин буде пересиченим по відношенню до кристалів з досконалішою кристалічною решіткою. Від ступеня однорідності початкового порошку по великій частинок залежить, який

вид перекристалізації переважатиме: перекристалізація дрібних зерен або зерен з нерівноважною кристалічною решіткою;

ж) під час охолодження сплаву від 1500 °C до 1300 °C в області температур 1400 °C відбувається кристалізація рідкої фази - на існуючих зернах, відповідно до діаграми стану, спочатку з рідкої фази виділяються надлишкові кристали фази WC, а потім кристалізується подвійна евтектика $\gamma + WC$. Потрійні сполуки вольфраму, кобальту і вуглецю утворюють фази η_1 , η_2 і χ , які відповідають формулам Co_3W_3C , Co_6W_6C і $Co_2W_8C_3$ відповідно. За даних умов монокарбід вольфраму практично не розчиняє кобальт, залишаючись окремою фазою. У свою чергу кобальт розчиняє від 10 % до 11 % вольфраму і вуглецю утворюючи область твердого розчину γ [7].

Головним завданням в ході операції спікання є збереження заданого складу сплавів, головним чином, за змістом вуглецю. Порушення складу по вуглецю, особливо якщо воно приводить до появи в сплавах нових фаз, небажано, оскільки негативно відбивається на властивостях сплавів.

Під час спікання в середовищі водню відбувається знеуглецювання карбіду за рахунок взаємодії водяної пари, що міститься в робочому просторі, і водню з карбідами вольфраму. Очищення водню від вологи і кисню різко знижує ступінь знеуглецювання сплавів.

Для захисту виробів від небажаної дії середовища спікання застосовують різні засипки [8]. Склад засипки вибирають з таким розрахунком, щоб створити навколо виробу, що спікається, сприятливе середовище. За допомогою засипки вироби відокремлюють від стінок контейнера, а також один від одного. Під час спікання виробів з твердосплавних сумішей застосовують наступні засипки: графітову крупу, порошок плавленого оксиду алюмінію (так званий електрокорунд, або корракс) і суміш корракса з графітовою крупною. Вибір даних засипок обумовлено тим, що вони не взаємодіють з виробами і зберігають свої технологічні властивості за високих температур.

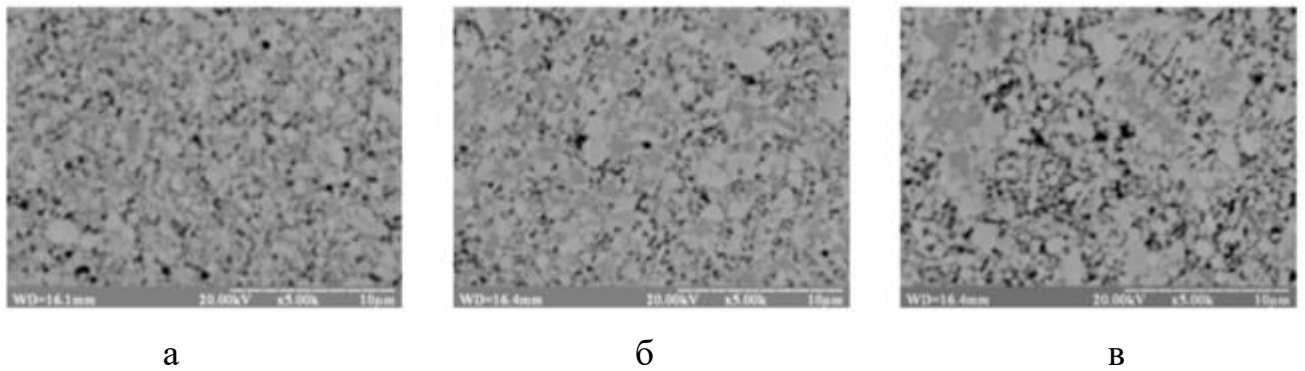
Для збереження необхідної кількості вуглецю в сплаві можна застосовувати метод так званого нормалізуючого спікання, заснований на

сумісній дії водню і вуглецю що поступають в піч із засипки. Відомо, що за температури 1160 °С виробу зневуглецьовуються найінтенсивніше. Тому, якщо перед остаточним спіканням застосувати проміжне спікання за температури від 1100 °С до 1200 °С і наявності навуглецьовуючої засипки (графіту), можна отримати потрібний за змістом вуглецю склад сплаву після остаточного спікання [9].

Розглянуті вище умови спікання відносяться, головним чином, до умов спікання в середовищі водню. Значне місце у виробництві твердих сплавів займає спікання у вакуумі, яке часто застосовується для спікання безвольфрамових твердих сплавів на основі карбіду або карбонітриду титану [10]. Процес ущільнення сплавів під час спікання у вакуумі відрізняється від спікання в середовищі водню, оскільки у вакуумі поліпшуються умови змочування тугоплавкої сполуки рідким металом зв'язки на першій стадії спікання. Тому слід чекати швидшої усадки і більш рівномірного розподілу рідини серед частинок. Крім того, в процесі спікання у вакуумі після появи у виробі рідкої фази виділяються гази (адсорбовані або хімічно зв'язані), які легко віддаляються. В результаті тверді сплави, спечені у вакуумі, володітимуть більш високими фізико-механічними властивостями і стабільністю, чим отримані в середовищі водню [11].

Одним із перспективних та малодосліджених методів отримання твердих сплавів є електронно-променеве спікання. Доведено, що використання електронно-променевого методу спікання ВК8 дозволяє зберегти дисперсну структуру твердого сплаву.

Дослідження вчених Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського» [12] показали, що оптимальним час спікання порошкових виробів склав 30 секунд, зразки майже без пористі, а показники їх твердості вище середніх. За меншого часу спікання зразків повна усадка не відбувається і зразок має суттєву пористість, а якщо спікати зразки довше 30 секунд, то розпочинається ріст зерна (рис. 1.4).



а - 10 с; б - 30 с; в - 60 с

Рисунок 1.4 – Мікроструктури твердого сплаву ВК8 спеченого електронним променем за різного часу спікання [12]

Під час спікання твердих сплавів у середовищі вакууму частина оксидів, які знаходяться на поверхні порошку можуть відновлюватись за рахунок вуглецю, який знаходиться в карбіді. Це може стати причиною утворення η -фази. Для уникнення цього до порошку твердого сплаву необхідно додавати невелику кількість вільного вуглецю. Також одним із варіантів є використання пластифікатору, який матиме високу зольність.

Питання застосування органічного пластифікатору на стадії пресування є дуже важливим з точки зору впливу на вміст вуглецю в структурі готового виробу, так як цей вплив безсумнівно відзначається у багатьох роботах, проте маловивчений на даний момент.

1.2 Види пластифікаторів

На сьогоднішній день в практиці виробництва твердих сплавів відсутні пластифікатори, які б задовольняли усім вимогам твердосплавних промисловостей. Як правило, пластифікатори, що застосовуються, або залишають після вигорання зольний залишок (вуглець), або мають малу клеючу здатність, або погано розчиняються в рідині, що використовується при мокрому розмелі суміші порошків тощо. Крім того, в даний момент відсутні комплексні порівняльні дані впливу різних пластифікаторів на процеси пресування і

спікання твердосплавних виробів, які допомогли б виявити тенденції і пояснити механізми впливу видів пластифікаторів на властивості спресованих і спечених виробів [12].

Вибір і кількість введеного пластифікатору пов'язаний з властивостями пресуємого порошку і заданими властивостями майбутніх виробів, їх формою і розмірами [13]. Органічний пластифікатор повинен володіти поєднанням деяких властивостей, із яких найбільш важливими є здатність змочувати частки пресуємого порошку, легко і без залишку вигорати під час спікання заготовок тощо.

У вітчизняній промисловості використовують, в основному, синтетичний каучук, який вводять в суміші у вигляді розчину в бензині. Судячи з досвіду зарубіжної промисловості, можна застосовувати парафін, гліколь, камфору у вигляді розчину в бензині, ацетоні або ефірі, смолу (гліптал), розчинену в бензині або ацетоні. Широке поширення останнім часом отримали полівінілацетат, полівінілгліколь та поліетиленгліколь [14].

Під час вибору пластифікатору варто враховувати середовище та обладнання, в якому будуть спікатися пресовки з твердих сплавів. Тож якщо розглядати технологію спікання електронно-променевим методом, то варто зазначити, що пластифікатор має вигорати за досить короткий проміжок часу, так як сам процес спікання займає не більше 5 хвилин. Також вміст пластифікатору повинен буди невеликим, адже за його вигорання вакуум у робочій камері може різко падати, що негативно позначиться на властивостях спеченого матеріалу, а також може завдати шкоди самій установці. В даному випадку найкраще можуть підійти такі види пластифікаторів, як синтетичний та натуральний каучук, гумовий клей та поліетиленгліколь. Саме вони володіють необхідними властивостями для спікання електронно-променевим методом.

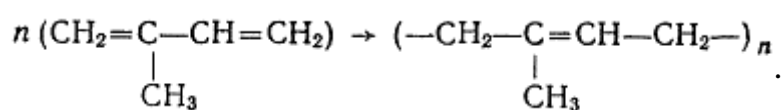
1.2.1 Синтетичний та натуральний каучук

Натуральний каучук — еластичний матеріал, який отримують при коагуляції латексу каучуконосних рослин, головним чином бразильської гевеї, що росте в тропічних країнах (рис. 1.5). Основний компонент — поліізопрен — вуглеводневе полімерне хімічне з'єднання, що має загальну формулу $(C_5H_8)_n$, де n становить від 1000 до 3000.



Рисунок 1.5 – Видобування каучуку з бразильської гевеї

Полімеризацію ізопрену можна схематично зобразити таким рівнянням:

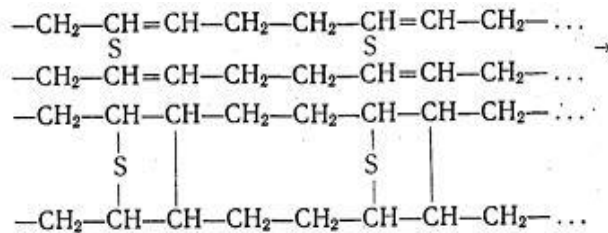


Синтетичний каучук — це синтетична речовина, який отримується полімеризацією насиченого вуглеводню із двома подвійними зв'язками — бутадієном (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Гранули синтетичного каучуку

Процес полімеризації проводять в присутності металічного натрію як каталізатора під тиском:



Якщо розглядати ці два матеріали як пластифікатори, то можна сказати, що вони досить добре зарекомендували себе в якості пластифікуючої речовини на теренах вітчизняної промисловості, а особливо синтетичний каучук. Пресовки, в яких використовувалися ці пластифікатори, відзначалися досить хорошою еластичністю та міцністю, відсутністю взаємодії з порошками твердого сплаву.

До недоліків можна віднести можливе прилипання матеріалу до прес-форми [15].

Синтетичний та натуральний каучук мають досить високу зольність. З одного боку, це може негативно впливати на структуру спеченого виробу, так

як може утворюватися вуглецева пористість. Проте, з іншого боку, під час спікання у вакуумі наявність цього вуглецю може запобігти утворенню η -фази.

Зазвичай у суміш вводять 1 мас. % каучуку, що розчиняють у бензині.

1.2.2 Поліетиленгліколь

Поліетиленгліколь (далі – ПЕГ) – це нейтральний, водорозчинний полімер, який широко застосовуються в порошковій металургії, молекулярній біології, медицині, біохімії та фармацевтичній промисловості (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Поліетиленгліколь

ПЕГ представлений лінійним або розгалуженим полієфіром із гідроксильними групами [16]:



У порошковій металургії ПЕГ використовується у вигляді розчину в спирті.

Однією із головних переваг поліетиленгліколю є те, що він не взаємодіє з сумішшю порошків та повністю видаляється під час спікання не залишаючи після себе жодних слідів.

Досить швидко вигорає під час спікання, але за масового вмісту більше 2 % призводить до підвищення тиску в заготовці. За таких умов може з'явитися «розшарування» [17]-[18].

Поліетиленгліколь завдяки своїм властивостям досить широко використовується в світовій практиці. Особливо ефективним він виявився під час спікання твердих сплавів у середовищі водню, а також у разі застосуванні технології гарячого пресування.

1.2.3 Гумовий клей

Не так давно проводилися спроби використання в якості пластифікатору гумового клею ТМ «Химик-плюс» (рис 1.8), виготовленого на основі натурального каучуку.



Рисунок 1.8 – Гумовий клей ТМ «Химик-плюс»

Виявилося, що він має досить хороші ключі властивості, не взаємодіє з матеріалом суміші та повністю вигорає під час спікання.

Заготовки, спресовані з даним пластифікатором, є досить міцними.

Гумовий клей досить швидко вигорає під час спікання та майже не впливає на вакуум у робочій камері електронно-променевої установки СВ-112. Одним із недоліків даного пластифікатору є порівняно гірший розподіл в суміші.

Перед введенням пластифікатору в суміш гумовий клей розчиняють в бензині у пропорції 5 г клею на 100 мл бензину.

1.3 Висновки та постановка задач дослідження

Детальне вивчення впливу природи та концентрації пластифікаторів на фізико-технологічні властивості твердосплавних суміші і їх впливу в процесі спікання на кінетику видалення і формування вуглецевого балансу під час спікання твердого сплаву є досить перспективним завданням.

Дослідження цієї теми може дати новий підхід до вирішення технологічних задач і моделювання процесу оптимізації властивостей. Наші виробни в даний час в ряді випадків поступаються в конкурентній боротьбі західним аналогам через відсутність даних по процесах спікання і формування з використанням пластифікаторів, які у нас починають застосовувати. Розуміння механізму і кінетики взаємодії органічних сполук з компонентами твердосплавних суміші, в кінцевому рахунку, забезпечить підвищення якості і стабільності експлуатаційних властивостей продукції. Розробка новітніх технологій та методів виготовлення твердих сплавів дає можливість розвивати галузь порошкової металургії, робити її більш доступною та вживаною.

Електронно-променеве спікання – це новий, прогресивний метод отримання вже відомих сплавів з покращеними характеристиками, спікання яких займає лічені секунди. Проте, не зважаючи на всі переваги даного методу, є і суттєві недоліки даного методу [19].

Оскільки спікання електронним променем – це досить швидкий процес, необхідно підібрати пластифікатори, які швидко вигоратимуть і не залишатимуть небажаних слідів на самих зразках. Також досить велику роль в даному процесі відіграє і кількість пластифікатору – його не повинно бути забагато, адже спікання проводиться в середовищі вакууму і велика кількість органічних чи неорганічних речовин може негативно вплинути на нього, що в

результаті може призвести до небажаних наслідків, таких як поломка устаткування або вихід із ладу окремих деталей конструкції.

Саме тому, метою роботи є дослідження впливу природи та кількості пластифікатору на формування структури та властивостей твердого сплаву ВК8 спеченого електронно-променевим методом.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- а) одержати спресовані зразки з порошку ВК8, використовуючи різні види та кількість пластифікатору, а саме синтетичного та натурального канчуків, поліетиленгліколю та гумового клею;
- б) дослідити спресовані зразки на формівність;
- в) спекти спресовані зразки в установці СВ-112;
- г) дослідити властивості спечених зразків.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали для виготовлення виробів

Залежно від складу карбідної фази тверді сплави поділяють на три основні групи: однокарбідні сплави WC – Co (типу ВК), двокарбідні WC – TiC – Co (типу ТК), трикарбідні WC – TC – TaC – Co (типу ТТК) [20].

До сплаву першої групи (типу ВК) входять елементи, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Елементи та їх відсотковий вміст у однокарбідних сплавах

Елемент	Відсотковий вміст елементу
W	91,7
Co	7,4-8
O	0,4
C	0,6-0,66
Fe	0,3

Кобальт використовується для зв'язки карбіду вольфраму. Це метал, за зовнішнім виглядом схожий на ферум, але відтінок його темніше. Застосування його в складі робить сплав більш тягучим і міцним. Карбід вольфраму - це хімічна сполука вольфраму і вуглецю.

До складу сплаву ВК8 входять дрібні фракції карбідного з'єднання і кобальту, що дозволяє вважати матеріал продуктом порошкової металургії [21].

2.2 Технологічний процес виготовлення твердого сплаву ВК8 методом електронно-променевого спікання

У процесі виконання роботи були виготовлені зразки з твердого сплаву ВК8 з використанням різних видів пластифікаторів методом електронно-променевого спікання.

Одержання зразків з ВК8 включає в себе дозування порошку, змішування його з пластифікатором, гранулювання, пресування, сушку в сушильній шафі, спікання. Технологічна схема виготовлення виробів з твердого сплаву типу ВК показана на рисунку 2.1.

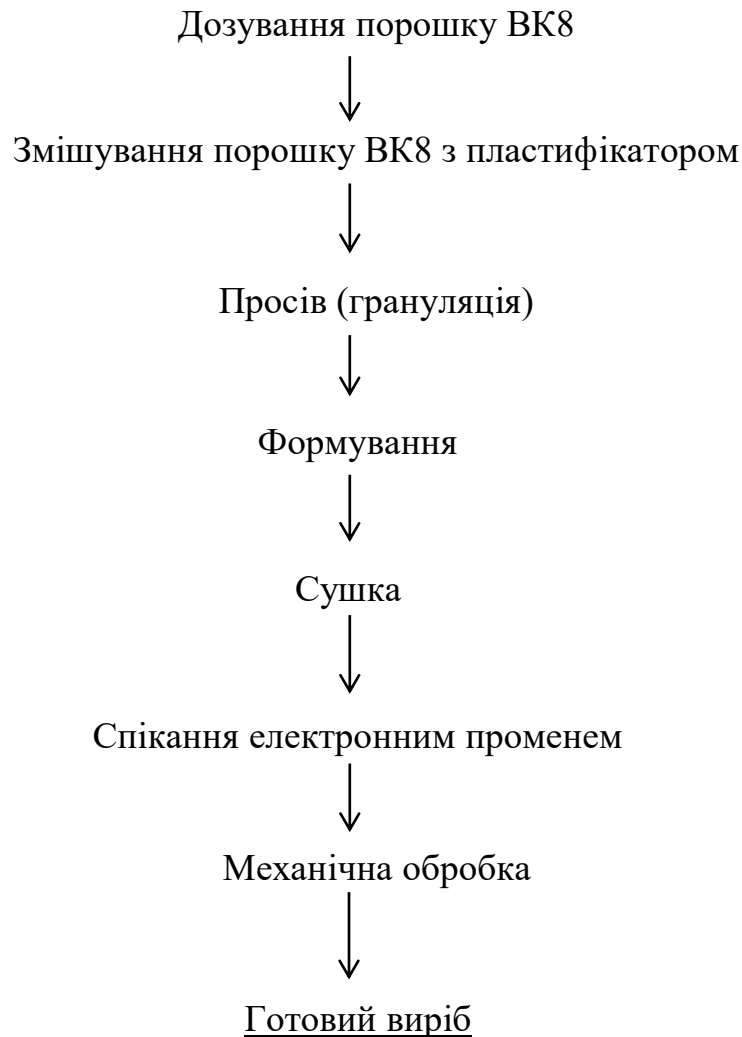


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виготовлення виробів з твердого сплаву типу ВК електронно-променевим методом

2.2.1 Вихідні матеріали

У якості вихідних матеріалів використовувались порошкова суміш, як складається з карбіду вольфраму (WC) та кобальту (Co), що відповідає за складом твердому сплаву ВК8, з розміром частинок близько 2 мкм (рис. 2.2).

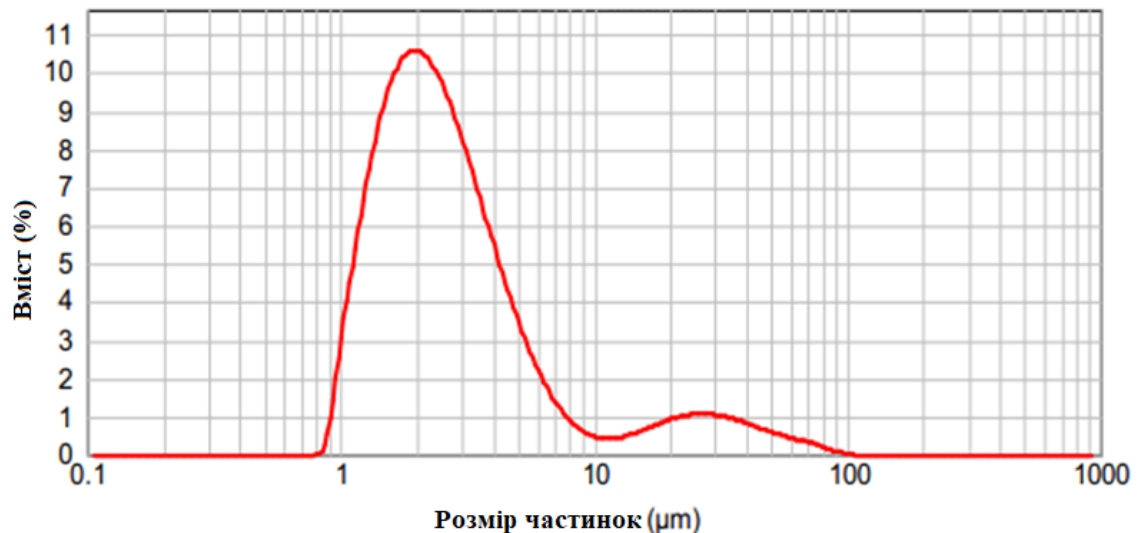


Рисунок 2.2 – Результати аналізу по визначенню гранулометричного складу

Проведений хімічний аналіз (табл. 2.2) підтвердив заявлений склад виробником.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад ВК8 за СТО 00196144-0727-2012

Марка	Вміст компонентів, %					
	Вольфрам	Вуглець загальний / вільний	Кобальт	Залізо	Кисень	Хром
ВК8	основа	5,51 / 0,04	7,61	0,016	0,22	0,820±0,048

2.2.2 Формування зразків

Дозування порошку проводилось на аналітичних вагах, змішування виконувалось у ступці. В якості пластифікаторів вводилися бензинові розчини на основі натурального та синтетичного каучуку, гумового клею, а також спиртовий розчин полетиленгліколю. Змішування проводилося в ступці, після чого проводилася грануляція протиранням через сито розміром 300 мкм.

Розрахунок кількості порошку необхідної для пресування однієї заготовки проводився за формулою:

$$G = V \cdot p_k (1 - \Pi) \cdot K,$$

де V – об'єм пресовки, см^3 ;

p_k – густина компактного матеріалу, г/см^3 ;

Π – пористість пресовки;

K – коефіцієнт ($K=1,01$).

Об'єм пресовки визначається за формулою:

$$V = \pi h d^2 / 4,$$

де d – діаметр пресовки, см ;

h – довжина пресовки, см .

2.2.3 Пресування зразків

Пресування стержнів довжиною 12 мм і діаметром 8 мм здійснюється на гідравлічному пресі у прес-формі. Пресуванням за тиску 100 МПа були одержані заготовки з середньою пористістю від 50 % до 52 %. Після пресування зразки розміщуються на скляних пластинках та піддаються сушці.

2.2.4 Сушка зразків

Сушка використовується для видалення вологи та залишків бензину або спирту із заготовок, а також для підвищення їх міцності за рахунок полімеризації пластифікатора. Висушування зразків проводилось за температури 100 °С протягом 6 годин у сушильній шафі ВШ-035.

2.2.5 Спінання електронним променем

Спінання зразків здійснюється в установці СВ-112. Ця установка призначена для електронно-променевого зварювання деталей різної форми зі сталі, нікелевих сплавів і сплавів з титану та алюмінію товщиною від 0,05 мм до 20 мм. Також обладнання дозволяє проводити зварювання виробів з молібдену та вольфраму товщиною від 0,1 мм до 5 мм, проводити термічну обробку виробу та наносити покриття. Установка СВ-112 зображена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Установка СВ-112

Одержані пресовки кладуться та фіксуються на обертачі в робочій камері установки СВ-112. Після чого робоча камера герметизується і вакуумується до робочого тиску 10^{-3} Па. Напруга U , що подається на установку, становить 60 кВ, питома потужність P – 16 Вт/мм².

Після досягнення необхідного вакууму вмикається растр та обертач. Швидкість обертання зразка – 0,25 об/с. Налаштовується траєкторія, за якою буде проходити промінь, встановлюється ширина променю 1 мм і довжина

променю від 1 мм до 15 мм, фіксується відстань від зразка до гармати (310 мм) та вмикається електронна гармата, після чого починається процес спікання зразка.

За сили струму від 0,5 мА до 1 мА проводиться відгонка зразків для видалення з них пластифікатору (120 секунд). Після чого силу струму збільшують кожні 5 секунд з кроком 0,5 мА від 1 мА до 4 мА.

Після досягнення сили струму 4 мА досягається максимальна температура нагріву зразка – від 1480 °С до 1500 °С, а час спікання становить 30 секунд.

Режим вакуумного спікання зразків в електронно-променевій установці СВ-112 зображено на рисунку 2.4.

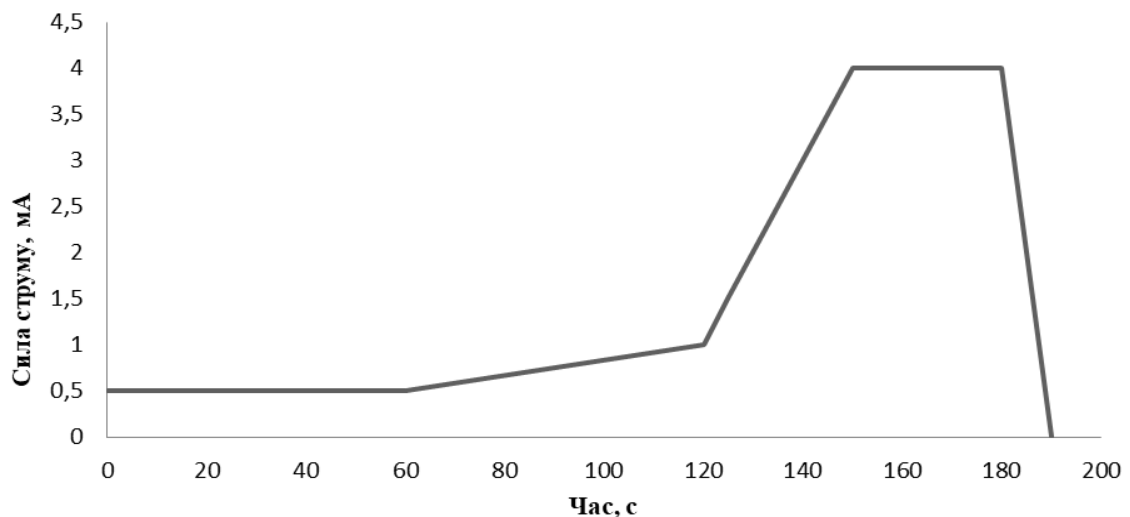


Рисунок 2.4 – Режим спікання в електронно-променевій установці СВ-112

Час охолодження зразків у вакуумі становить 4 хвилини (240 с).

Зовнішній вигляд зразка після електронно-променевого спікання зображено на рисунку 2.5.

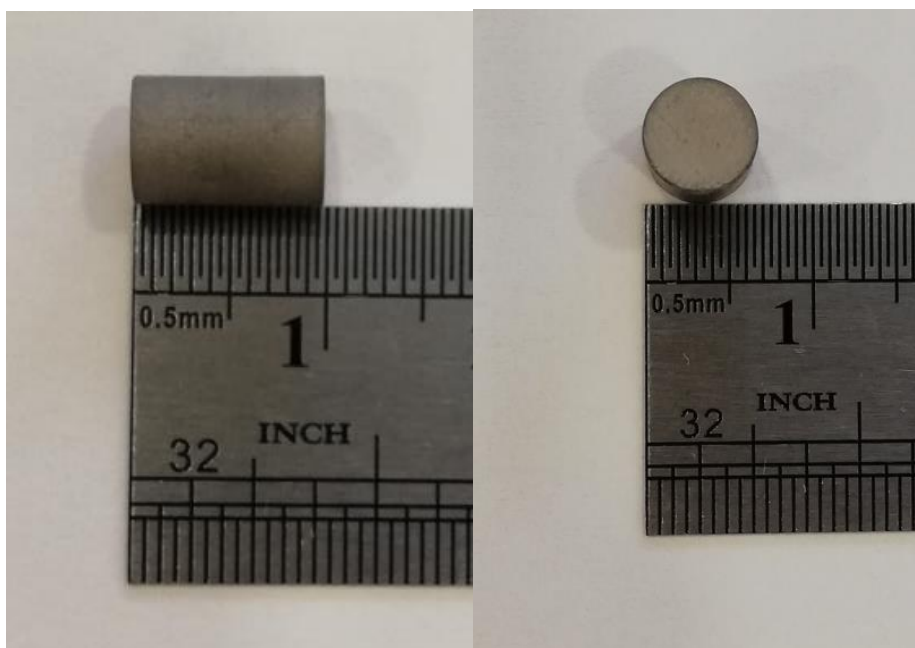


Рисунок 2.5 – Зображення зразка після електронно-променевого спікання

2.3 Формівність пресовок виготовлених з твердого сплаву ВК8

Дослідження проводилось на універсальній машині для випробувань матеріалів 1958У-10-1, згідно діючого стандарту ГОСТ 25.503-97 – Розрахунки та випробування на міцність. Методи механічних випробувань матеріалів. Метод випробування на стиск [22].

Швидкість навантаження на зразки становила 50 мм/хв.

2.4 Металографічні дослідження

Для проведення металографічних досліджень зразки були запресовані у порошок бакеліту. Після цього зразки шліфувалися за допомогою шліфувального паперу з зернистістю P180, P320, P600, P800, P1200, P2500. (папір змінюють на інший з меншою зернистістю по мірі виготовлення шліфа).

Мікроструктура твердого сплаву ВК8 досліджувалась за допомогою електронного растрового мікроскопа з камерою низького вакууму

Selmi РЭМ 106 на базі Інженерно-фізичного факультету Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського».

2.5 Дослідження твердості та мікротвердості твердого сплаву ВК8

Випробування на мікротвердість проводилось згідно діючого стандарту ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT). Поправка № 1[23].

Значення мікротвердості визначалися на приладі MHV-2000Z Microhardness Tester.

Випробування на твердість проводилось згідно діючого стандарту ДСТУ ISO 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:2005, IDT) [24].

Значення мікротвердості визначалися на приладі Твердомір ТК-2М.

2.6 Рентгенофазовий аналіз

Метою рентгенофазового аналізу є ідентифікація різних фаз в суміші кристалічних речовин на основі дифрактограми, створеної цими фазами. Зйомку проводили на рентгенівському дифрактометрі в присутності селективно-поглинального фільтру. Наявність останнього дозволяє знищити β -лінії, тобто вторинне випромінювання, яке може ввести нас в оману. На установці було випромінювання мідного аноду, яке має довжину хвилі $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$ [25].

Розшифрування дифрактограми здійснюється в наступній послідовності:

- а) визначають піки і нумерують їх справа наліво;
- б) через основи піків проводять базисну лінію. Це може бути пряма або ломана лінія, що дотикається до максимальної кількості точок дифрактограми знизу;

в) для кожного піка визначають кут 2Θ з точністю до 0,01 град. Це легко зробити, коли вершина піка співпадає з відміткою кута на діаграмній стрічці. Якщо вершина піка лежить між відмітками кутів, то долі градусів знаходять із пропорції, вимірявши в міліметрах відстань між двома сусідніми відмітками кутів і відстань від правої відмітки кута до положення вершини піка;

г) для кожного піка, знаючи кут повороту лічильника 2Θ , знаходимо кут відбиття Θ ;

д) для кожного піка визначаємо абсолютну інтенсивність $I_{\text{абс}}$, мм. Потім знаходимо відносну інтенсивність $I_{\text{відн}}$, прийнявши за 10 балів інтенсивність самого високого піка;

е) для кожного піка за значенням кута Θ , використовуючи рівняння Вульфа-Брега, визначаємо міжплощинні відстані d з точністю до 0,0001.

Формула Вульфа – Брега:

$$2d \cdot \sin\Theta = n\lambda .$$

Визначення фазового складу засноване на тому, що кожна індивідуальна кристалічна речовина має свій набір міжплощинних відстаней d_i дає специфічну дифрактограму з певним набором піків. Аналіз полегшується, якщо відомо який матеріал зафіксований на дифрактограмі. Із довідкових таблиць знаходимо рентгенівські константи (d , I), за якими і визначаємо фази [26].

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Дослідження формівності пресовок виготовлених з твердого сплаву ВК8

Аналіз досліджень зразків на формівність показав наступну залежність: у разі збільшенні кількості пластифікатору міцність пресовок зростає (рис. 3.1 – 3.4). Це пояснюється тим, що при введенні більшої кількості пластифікуючої речовини, більша площа порошків змочується клеючою речовиною, відповідно відбувається краще зчеплення частинок між собою.

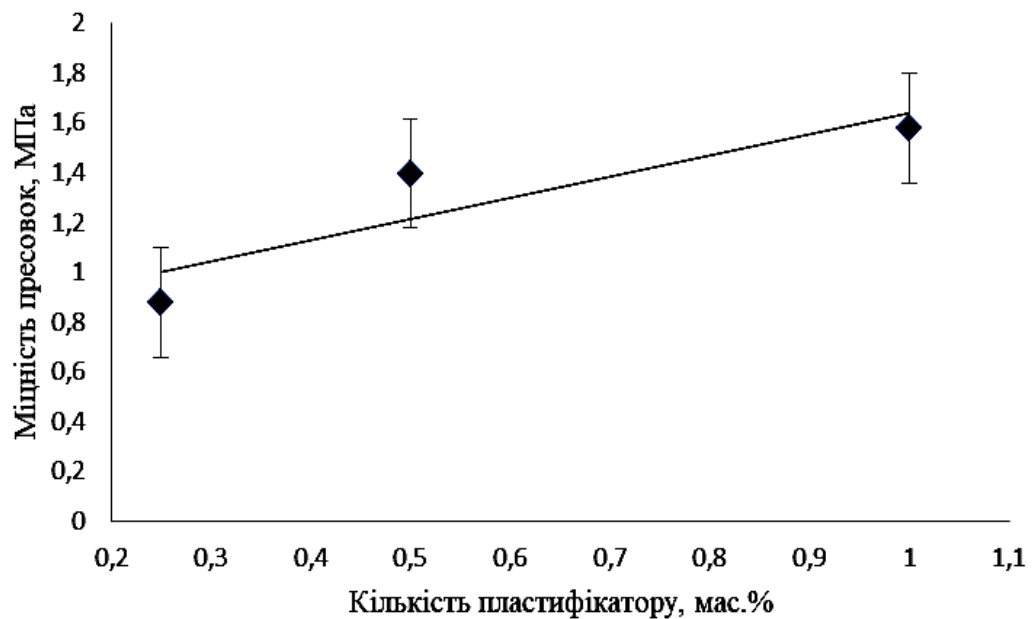


Рисунок 3.1 – Залежність впливу кількості синтетичного каучуку на міцність заготовок

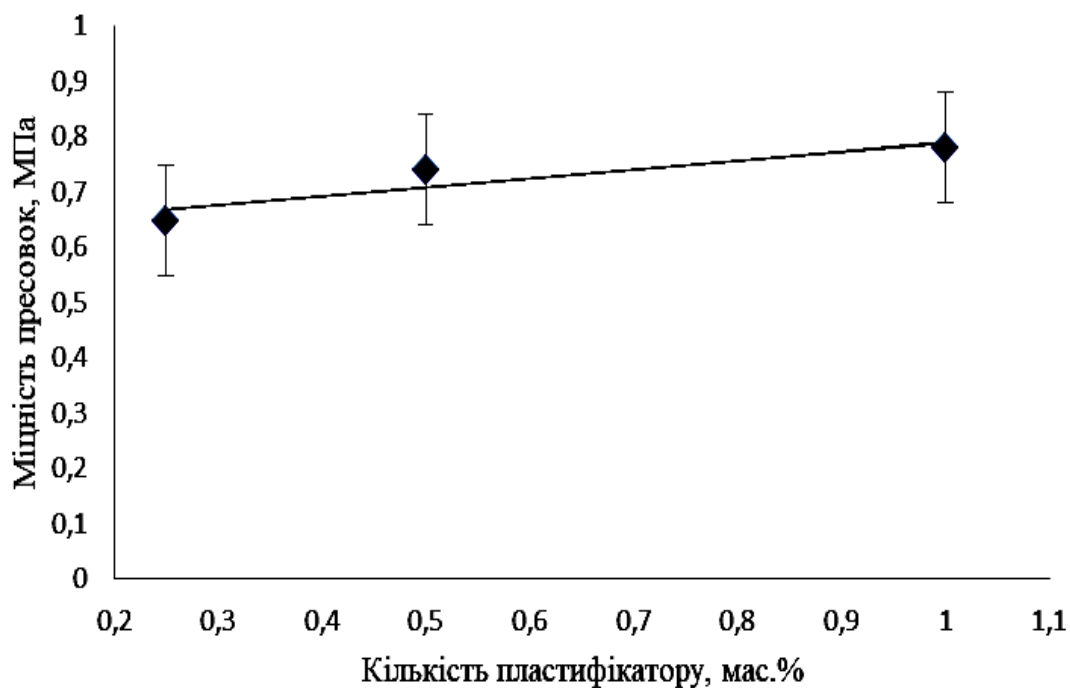


Рисунок 3.2 – Залежність впливу кількості натурального каучуку на формівність заготовок

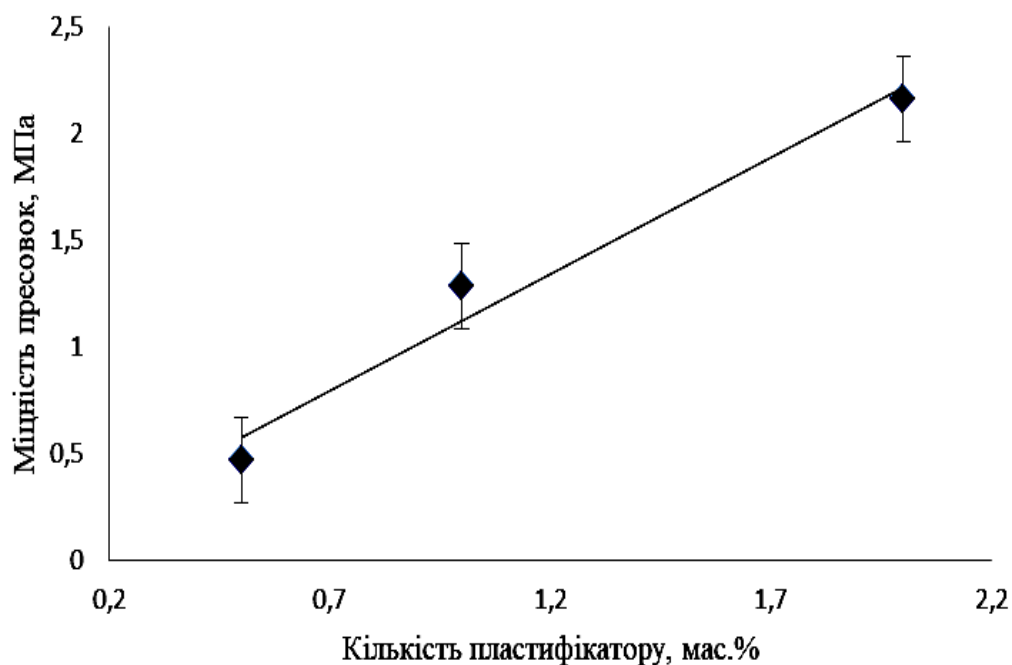


Рисунок 3.3 – Залежність впливу кількості поліетиленгліколю на міцність заготовок

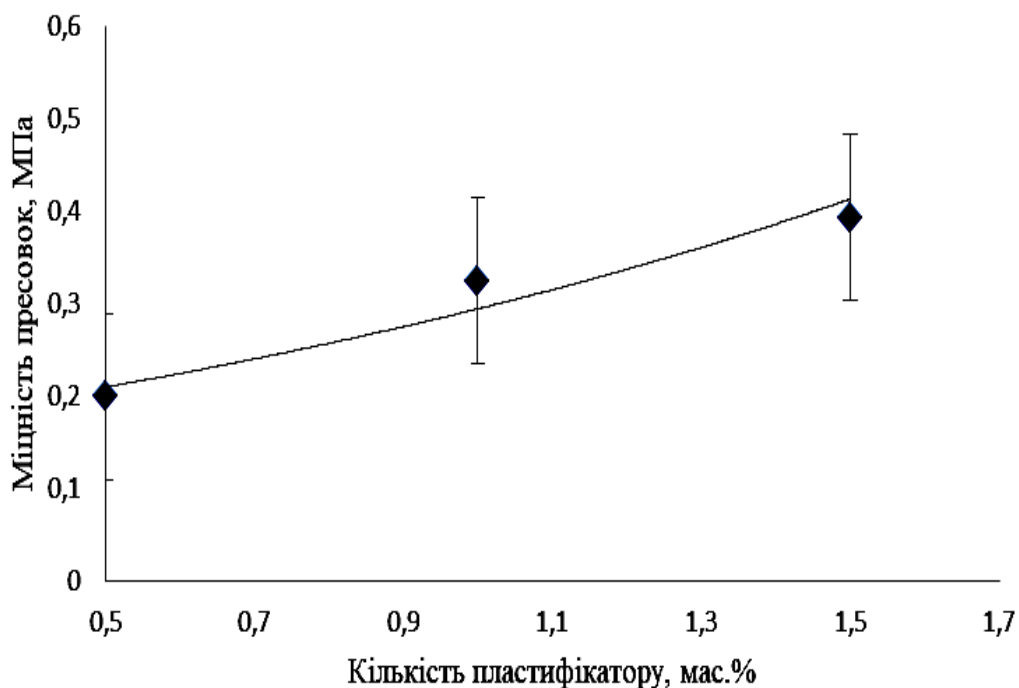


Рисунок 3.4 – Залежність впливу кількості гумового клею на міцність заготовок

Результати досліджень на формівність показали, що найбільшу міцність на стиск мають зразки з 2 мас. % поліетиленгліколю – 2,16 МПа, а найнижчою міцність відрізняються зразки з гумовим клеєм – лише 0,25 МПа (рис. 2.11).

3.2 Визначення щільності зразків та усадки

Після пресування зразків за тиску 100 МПа із різними пластифікаторами було визначено їх щільність та пористість. Результати розрахунків пористості та щільності наведено в таблиці 3.1.

Отримані зразки із середньою щільністю – 7,5 г/см³ та пористістю 50,1 %.

Таблиця 3.1 – Щільність та пористість зразків із різними пластифікаторами перед спіканням

Вид пластифікатору	Вміст пластифікатору, мас. %	Щільність, г/см ³	Пористість, %
Синтетичний каучук	1	7,49	50,61
	0,5	7,58	51,19
	0,25	7,43	50,20
Натуральний каучук	1	7,63	51,56
	0,5	7,68	51,87
	0,25	7,47	50,47
Гумовий клей	2	7,53	50,90
	1	7,59	51,28
	0,5	7,54	50,98
Поліетиленгліколь	1,5	7,31	49,40
	1	7,39	49,96
	0,5	7,39	49,95

Після спікання в установці СВ-112 виміряно розміри і вагу зразків та визначено об'ємну усадку та пористість спечених зразків (табл. 3.2).

Оскільки залишкова пористість становить менше 3,5 % можемо припускати, що у зразку лишилася закрыта пористість після спікання.

Згідно Я. Є. Гегузіну спікання може супроводжуватись дією наступних механізмів: в'язкого плину; об'ємної самодифузії; поверхневої самодифузії; переносу через газову фазу; пластичного плину.

На початковому етапі спікання переважним буде механізм в'язкого плину, на наступних переважатиме об'ємна самодифузія.

Відповідно до отриманих результатів відносної щільності можна зробити висновок, що ми можемо отримувати заготовки методом електронно променевого спікання з властивостями, що відповідають традиційним методом порошкової металургії, однак отримувати значний вигрaш в часі виробництва заготовок.

Таблиця 3.2 – Щільність та пористість зразків із різними пластифікаторами після спікання

Вид пластифікатору	Вміст пластифікатору, мас. %	Щільність, г/см ³	Пористість, %
Синтетичний каучук	1	14,59	3,3
	0,5	15,01	0,4
	0,25	15,09	1,8
Натуральний каучук	1	15,07	1,3
	0,5	15,06	1,8
	0,25	13,57	1,4
Гумовий клей	2	_*	_*
	1	14,91	0,8
	0,5	14,96	0,7
Поліетиленгліколь	1,5	15,09	0,9
	1	15,00	1,2
	0,5	14,90	1,5

* – оскільки під час спікання зразки зруйнувалися, то визначити їх розміри та масу не вдалося.

3.3 Дослідження структури композитів

Дослідження мікроструктури твердих сплавів ВК8 з використанням різних видів пластифікаторів (гумовий клей, натуральний та синтетичний каучук, поліетиленгліколь), що були отримані методом електронно-променевого спікання, показало наступне.

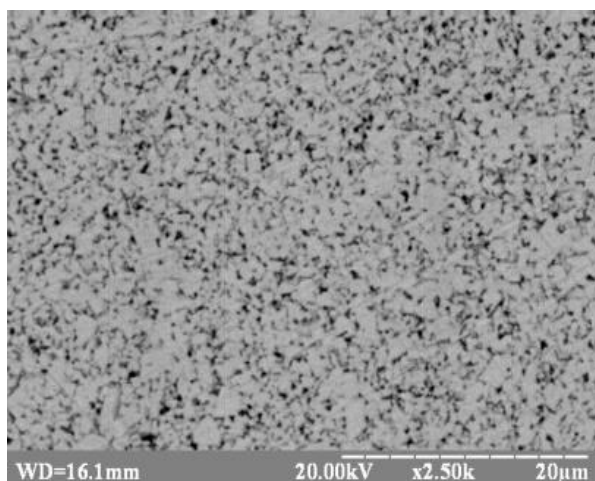
На структурах добре спостерігаються досить дрібні зерна карбіду вольфраму світло-сірого кольору, між якими знаходиться кобальт темно-сірого забарвлення. Розмір зерна карбіду вольфраму у всіх зразках становить близько 2 мкм. Малий розмір зерна можна пояснити тим, що спікання тривало лише 30 секунд, відповідно зерна не встигають збільшуватись у розмірі.

На деяких мікроструктурах наявна μ -фаза сірого кольору, що має вигляд окремих світлих ділянок з сірим вкрапленням, що має значно більший розмір за розмір зерна карбіду вольфраму.

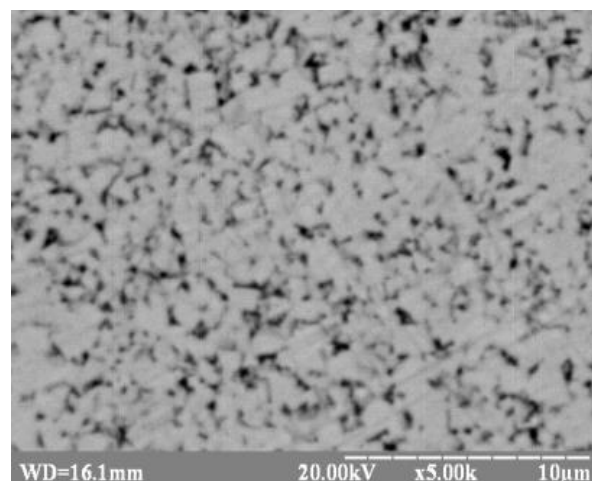
Під час дослідження мікроструктури зразків, зображених на рисунку 3.5, в яких використовувався натуральний каучук в кількості: 1 мас. % та 0,25 мас. %, μ -фаза не спостерігалася. Структура у обох зразків рівномірна, пористість незначна.

Мікроструктури зразків з використанням пластифікатору на основі синтетичного каучуку також показали відсутність μ -фази. У зразку з 1 мас. % (рис. 3.6) збільшенні $\times 2500$ досить добре спостерігається надлишкова пористість, що може бути наслідком високої зольності пластифікатору. Зразок з меншим вмістом пластифікатору має рівномірну структуру, пористість відсутня.

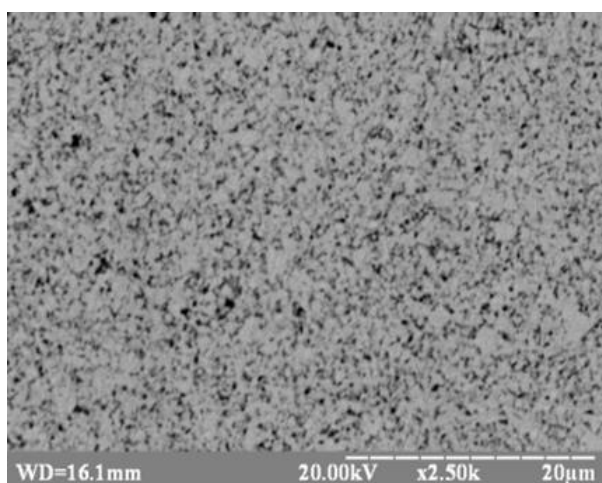
Якщо розглядати зразок з 2 мас. % поліетиленгліколю (рис. 3.7 а, б), то можна зазначити, що дефектної μ -фази там досить мала кількість. Її можна помітити на структурі лише за великих збільшень ($> \times 2500$). У зразку з 0,5 мас. % поліетиленгліколю кількість дефектної μ -фази значно більша, що негативно впливає на фізико-механічні властивості зразка.



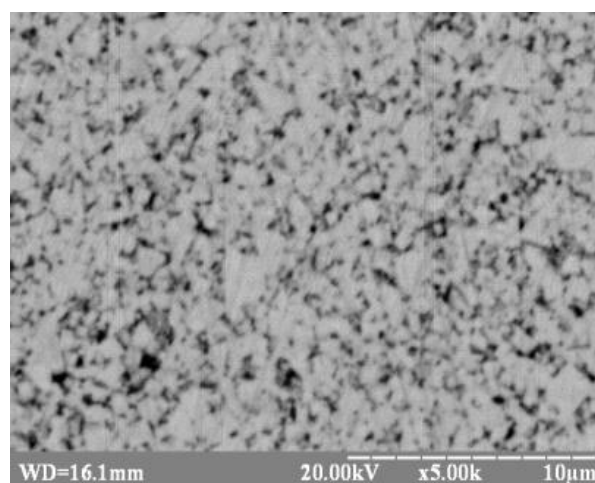
а



б



в

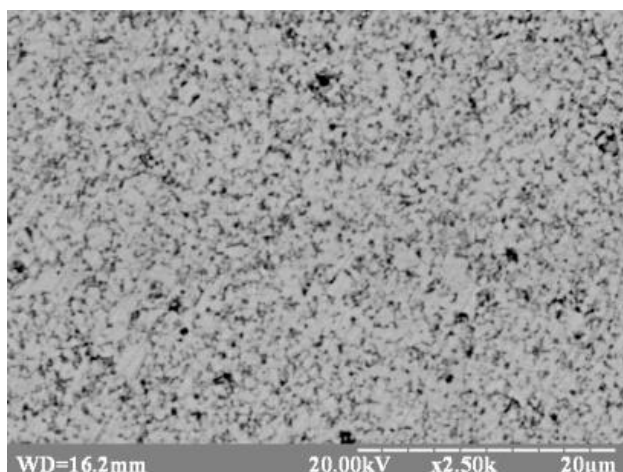


г

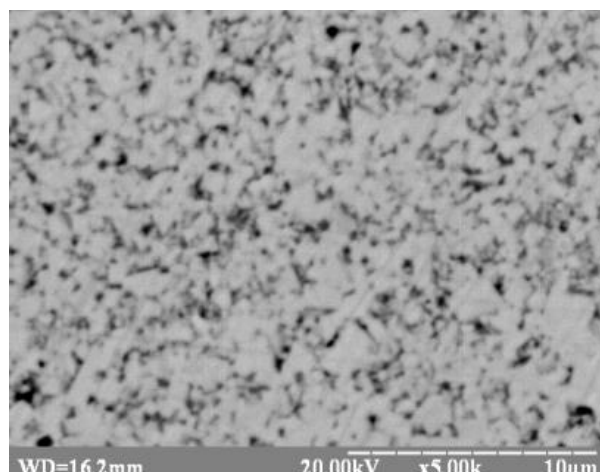
а, б – зразок з 1 мас. % натурального каучуку за збільшення
x2500 та x5000 відповідно;

в, г – зразок з 0,25 мас. % натурального каучуку за збільшення
x2500 та x5000 відповідно

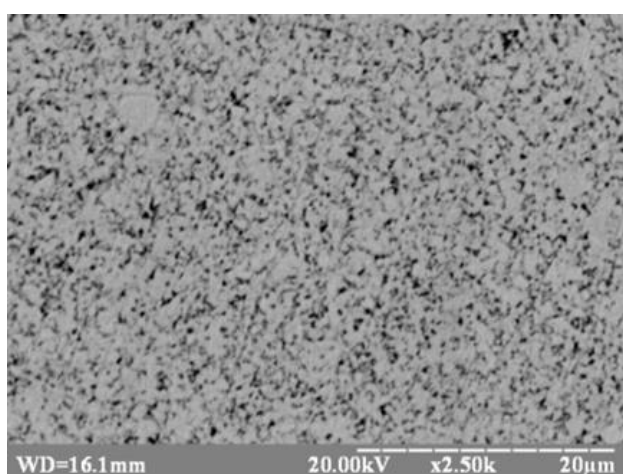
Рисунок 3.5 – Зображення мікроструктури твердого сплаву ВК8, виготовленого
з використанням пластифікатору на основі натурального каучуку



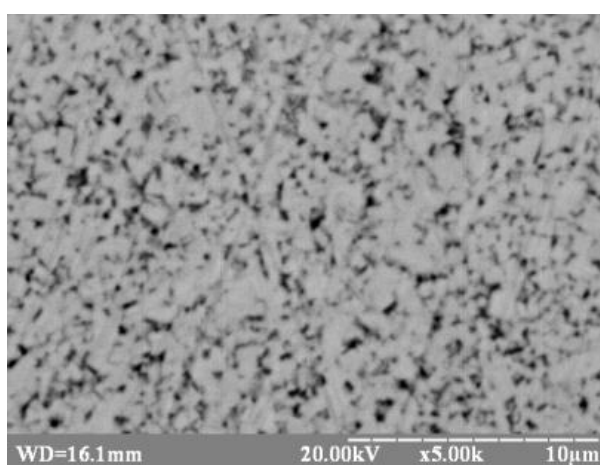
а



б



в

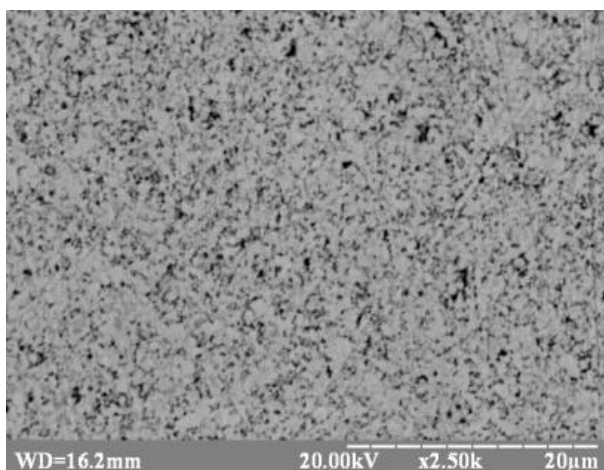


г

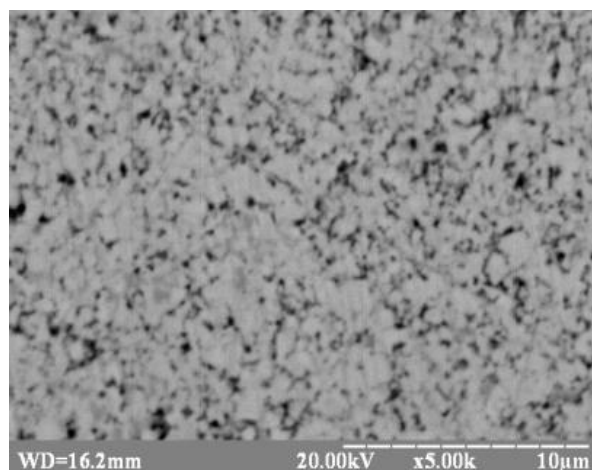
а, б – зразок з 1 мас. % синтетичного каучуку за збільшення
x2500 та x5000 відповідно;

в, г – зразок з 0,25 мас. % синтетичного каучуку за збільшення
x2500 та x5000 відповідно

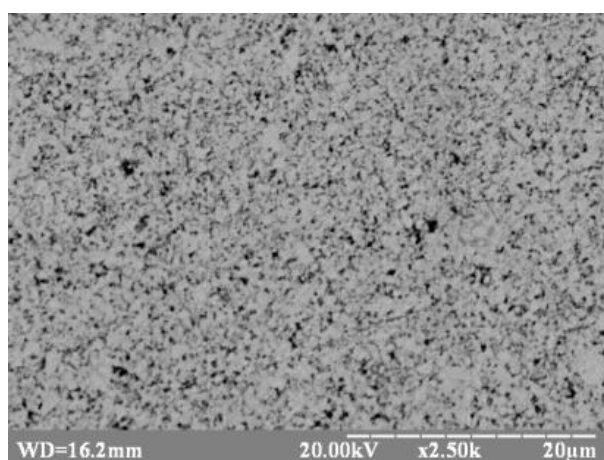
Рисунок 3.6 – Зображення мікроструктури твердого сплаву ВК8,
виготовленого з використанням пластифікатору на основі
синтетичного каучуку



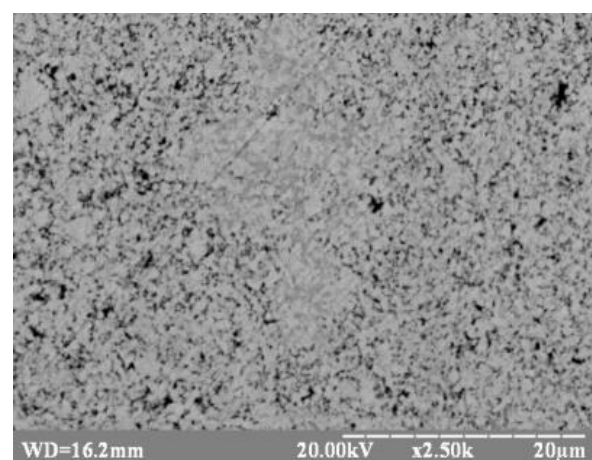
а



б



в



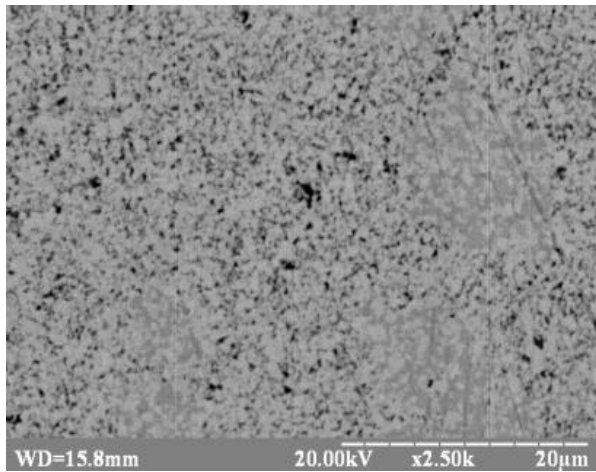
г

а, б – зразок з 2 мас. % поліетиленгліколю за збільшення
x2500 та x5000;

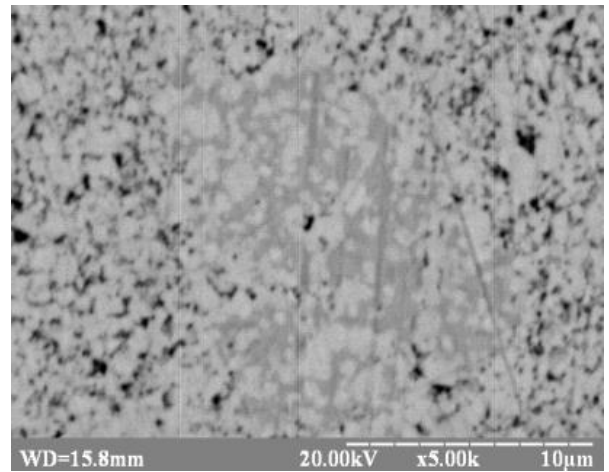
в, г – зразок з 0,5 мас. % поліетиленгліколю за збільшення
x2500 та x5000

Рисунок 3.7 – Зображення мікроструктури твердого сплаву ВК8, виготовленого з використанням пластифікатору на основі поліетиленгліколю

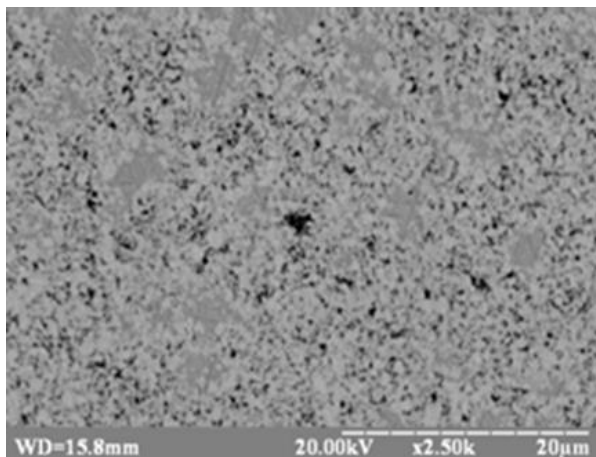
Під час дослідження мікроструктури зразків, в яких використовувався гумовий клей (рис. 3.8), було виявлено μ -фазу. Введення 1,5 мас. % гумового клею суттєво вплинуло на зменшення кількості μ -фази, проте цього було недостатньо для того, щоб позбутися її.



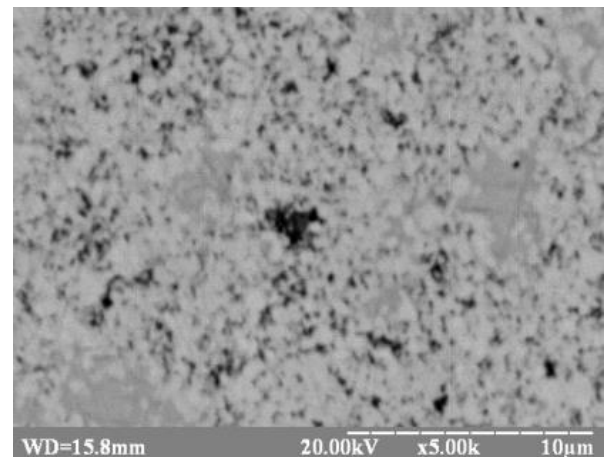
а



б



в



г

а, б – зразок з 1,5 мас. % гумового клею за збільшення
x2500 та x5000 відповідно;

в, г – зразок з 0,5 мас. % гумового клею за збільшення
x2500 та x5000 відповідно

Рисунок 3.8 – Зображення мікроструктури твердого сплаву ВК8,
виготовленого з використанням пластифікатору на основі гумового клею

3.4 Дослідження фазового складу

Для дослідження фазового складу зразків ВК8 використовувався метод рентгенівського фазового аналізу. Аналіз зразків твердого сплаву показав, що у зразках з використанням пластифікаторів на основі натурального та

синтетичного каучуків наявні дві фази, а саме: фаза карбїду вольфраму та фаза кобальту (рис. 3.9, 3.10).

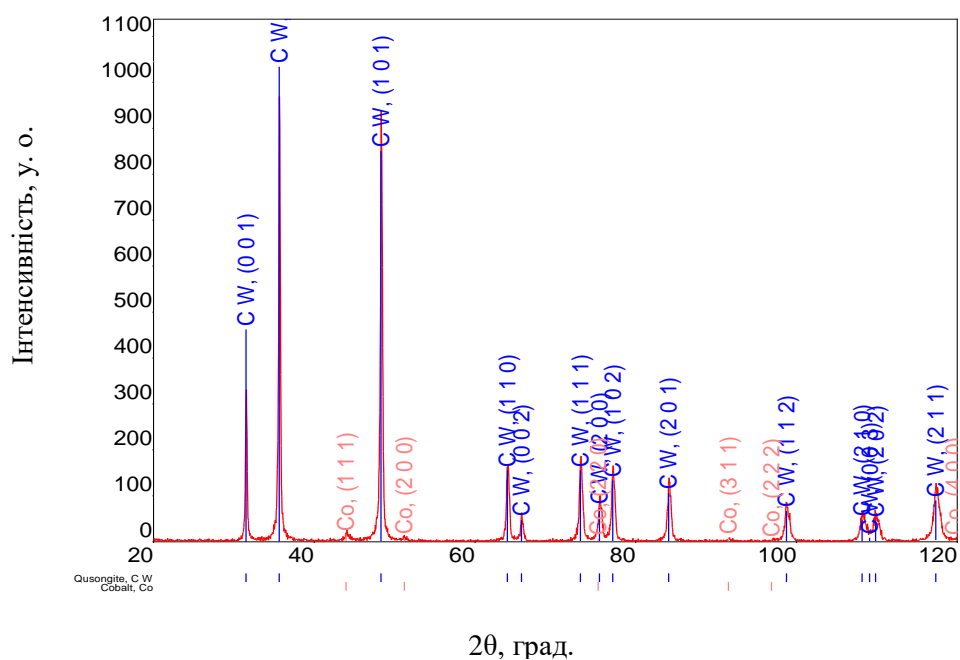


Рисунок 3.9 – Рентгенограма сплаву ВК8 виготовленого з використанням пластифікатору на основі синтетичного каучуку

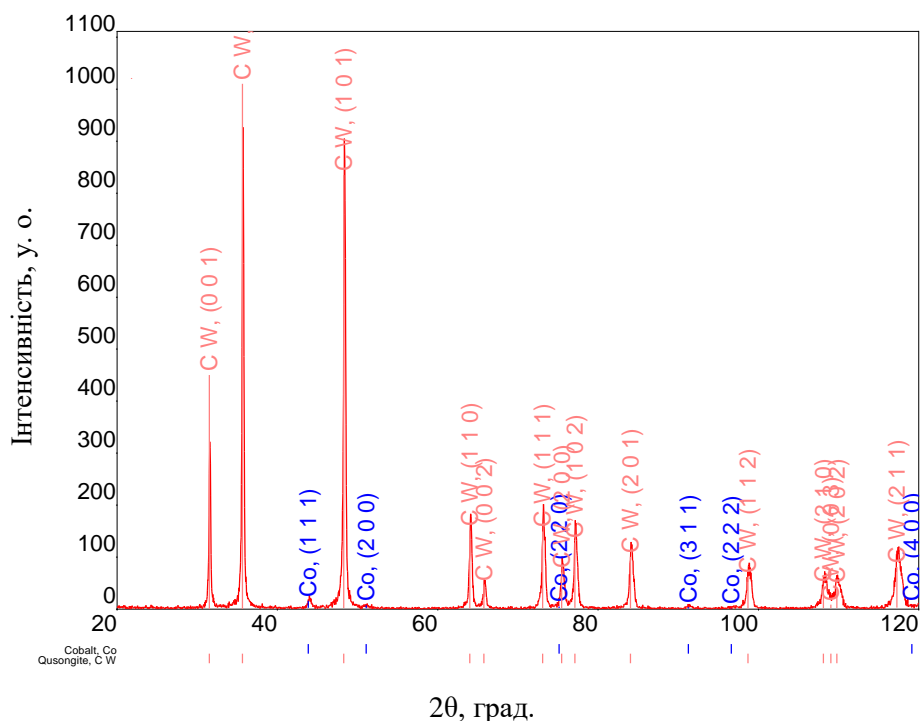


Рисунок 3.10 – Рентгенограма сплаву ВК8 виготовленого з використанням пластифікатору на основі натурального каучуку

У зразках з використанням пластифікаторів на основі поліетиленгліколю та гумового клею підтверджено наявність трьох фаз, а саме: фаза карбіду вольфраму, μ -фаза та фаза кобальту (рис. 3.11, 3.12)

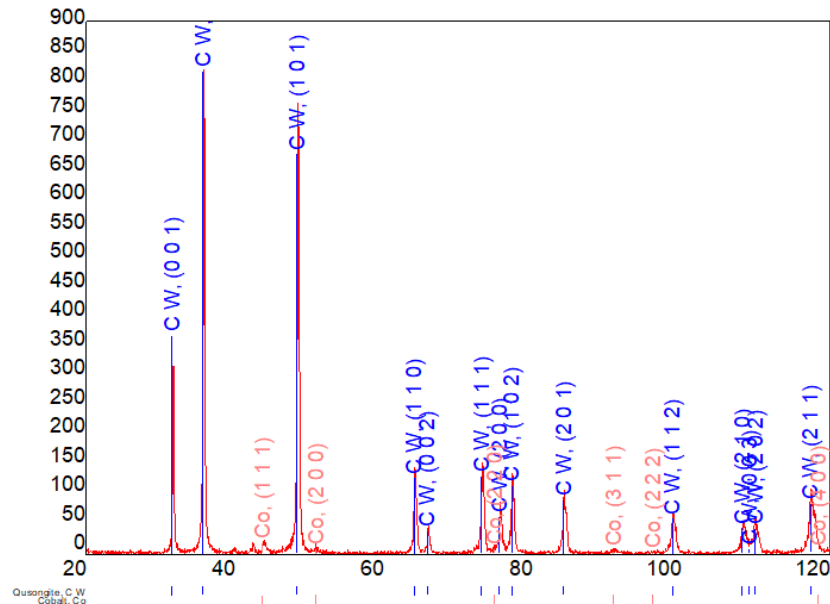


Рисунок 3.11 – Рентгенограма сплаву ВК8 виготовленого з використанням пластифікатору на основі поліетиленгліколю

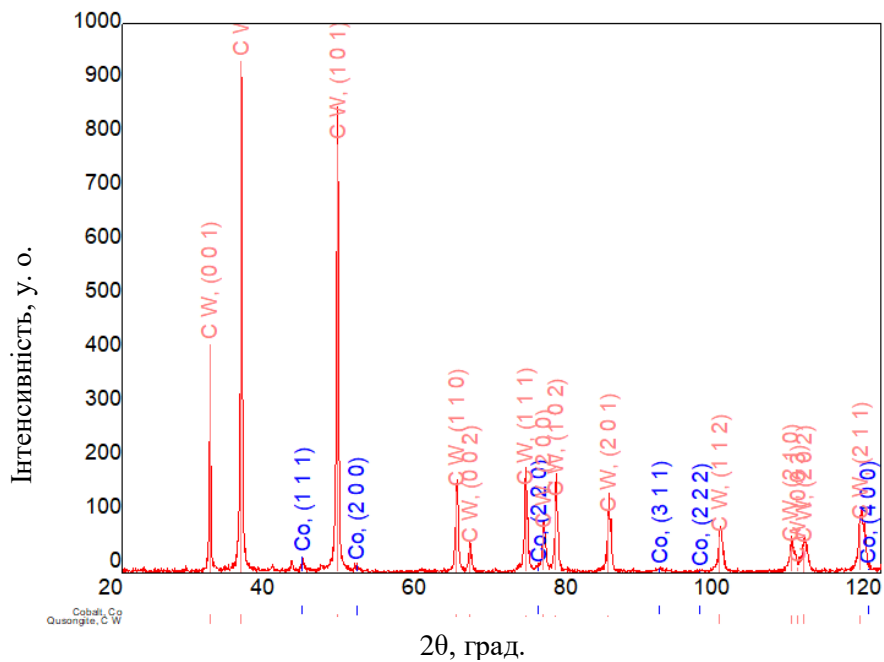


Рисунок 3.12 – Рентгенограма сплаву ВК8 виготовленого з використанням пластифікатору на основі гумового клею

3.5 Дослідження твердості та мікротвердості

Експериментальні дослідження мікромеханічних властивостей показали, що мікротвердість за Віккерсом для зразків з використанням різних видів та кількості пластифікаторів зростає у разі збільшення кількості μ -фази.

Результати проведених досліджень мікротвердості наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати досліджень зразків на мікротвердість

Вид пластифікатору	К-сть пластифікатору	Мікротвердість, HV
Синтетичний каучук	1	1698,5
	0,5	1765,3
	0,25	1771,3
Натуральний каучук	1	1788,9
	0,5	1752,5
	0,25	1800,5
Гумовий клей	1,5	1900,5
	1	2020,8
	0,5	2061,5
Поліетиленгліколь	2	1807,5
	1	1971,5
	0,5	2020,1

З отриманих результатів можна зробити висновок, що найбільшою мікротвердістю володіють зразки, під час виготовлення яких використовувався гумовий клей та поліетиленгліколь. Це пов'язано з тим, що в даних зразках була виявлена дефектна μ -фаза, яка робить матеріал більш твердим, але також робить його крихким.

Результати вимірювання твердості за Роквелом наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати досліджень зразків на твердість

Пластифікатор	К-сть пластифікатору	Твердість, HRA
Синтетичний каучук	1	89,7
	0,5	90,5
	0,25	90,7
Натуральний каучук	1	90,0
	0,5	89
	0,25	90,1
Поліетиленгліколь	2	91
	1	91
	0,5	90,6
Гумовий клей	1,5	89,5
	1	90,3
	0,5	92

Як видно з результатів, помітно вищою твердістю володіють зразки, замішування суміші яких проводилось з використанням гумового клею та поліетиленгліколю. Це пояснюється тим, що в даних зразках було наявна велика кількість μ -фази, яка підвищує твердість матеріалу, але разом з тим знижує їхню міцність.

Результати твердості отриманих зразків твердих сплавів, спечених електронно-променевим методом, перевищують середньостатистичні значення для ВК8, які становлять від 89 HRA до 90 HRA [29].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих чинників в процесі одержання виробів з твердих сплавів з використанням технології електронно-променевого спікання, а також розробка засобів та заходів для створення здорових і безпечних умов праці та усунення можливої надзвичайної ситуації.

У даному розділі розглянуто проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, які створюються під час застосування даної технології, та можливого впливу негативних факторів на організм людини.

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

Технологічні операції, що виконувалися під час проведення даної магістерської дисертації несли у собі ту чи іншу небезпеку. Розглянемо більш детально процес отримання виробів з твердих сплавів методом електронно-променевого спікання згідно технологічної схеми.

Більшість шкідливих і небезпечних виробничих факторів відносяться до фізичних факторів (фактори, що створюють небезпеку механічного травмування, підвищені рівні напруги, замикання ланцюга через тіло людини, електромагнітне, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, пил фіброгенної дії тощо) [27].

Етап дозування порошку ВК8 є досить небезпечним через можливість нанесення травм через використання спеціальних пристроїв, а також потрапляння порошків в організм людини. Проте, даний процес проводилося вручну без використання будь-якого обладнання.

Змішування порошку з пластифікатором необхідно для підвищення його формівності. У якості пластифікаторів було використано розчин синтетичного каучуку в бензині, розчин натурального каучуку в бензині, розчин гумового клею в бензині, розчин поліетиленгліколю в спирті. Відомо, що бензин та спирт

у тій чи іншій мірі отруйні (токсичні) і пожежонебезпечні. Бензини, будучи токсичними матеріалами, здатні проникати в організм через органи дихання, шкіру і травний тракт. Концентрація парів бензину в повітрі не повинна перевищувати 0,3 мг/л. Навіть за нетривалого вдихання повітря, що містить бензин в кількості від 5 до 10 мг/л, може настати гостре отруєння, характерними ознаками якого є головний біль, неприємні відчуття в горлі, кашель, подразнення слизової оболонки носа і очей, нестійка хода, запаморочення, збудження. Тому були розроблені наступні превентивні заходи, наведені в підрозділі 4.2.

Наступним етапом після замішування є сушка отриманої суміші. Дана технологічна операція містить незначну небезпеку, оскільки пил ВК8 відсутній, концентрація пластифікатору у суміші надто низька, щоб її випари нанесли шкоду для організму. Проблемою можуть стати ураження струмом та отримання опіків.

Пресування – це технологічна операція, що полягає у формування порошку під дією тиску. Під час проведення дослідження використовувалися механічні гідравлічні преси без електрифікації, що усуває небезпеку ураження електричним струмом під час виконання даної технологічної операції. Небезпека проведення формування зразків полягає у тому, що за значних тисків формування можливе руйнування рухомого пуансону чи матриці прес форми. Під великим тиском зруйновані частини прес форми можуть досягати значних швидкостей та нанести ушкодження оператору преса.

Основною операцією отримання виробів з порошку ВК8 є спікання, яке проводилось з застосуванням електронно-променевого методу. Особливістю спікання електронним променем є те, що прогрівання металу йде не з поверхні, а з поверхневого шару товщиною, рівною довжині вільного пробігу електрона. Зона нагрівання в залежності від ступеня фокусування може змінюватися в установці СВ-112 від 0,05 мм до 5 мм. Електронно-променева установка СВ-112 комплектується стаціонарною гарматою потужністю до 15 кВт, двокоординатним столом.

Електронно-променеві технології створюють такі шкідливі виробничі фактори як: випромінювання в оптичному діапазоні, видиме, ультрафіолетове та іонізуюче випромінювання, а також створюється небезпека ураження електричним струмом.

4.2 Безпека технологічного процесу та обладнання

Під час дозування пил ВК8 може мати незначну токсичність при вдиханні або потраплянні всередину організму, тому для усунення небезпеки під час роботи з порошками, необхідно використання засоби індивідуального захисту, а саме: гумові рукавиці та респіратори для запобігання потрапляння небажаних речовин на шкіру та органи дихання.

Технологічний процес передбачає використання бензину та спирту в кількості 0,5 л та 0,1 л відповідно, що в свою чергу не несе загрози для людини у разі випадкового проливання, але все рівно потребує обережного поводження з ними. Вищезазначені речовини не піддавалися нагріванню та пошкодженню, а також зберігалися поза межами лабораторії, тому ризик вибухонебезпечності практично відсутній.

Для попередження потрапляння шкідливих речовин в організм та отруєння шкідливими речовинами, змішування пластифікаторів з порошком ВК8 проводилось у витяжній шафі в добре провітрюваній лабораторії. Для додаткового захисту під час проведення даної технологічної операції використовувалися лабораторні сита та керамічні ступки, однак вони не становлять небезпеки.

Розглянемо детальніше обладнання, що використовувалося під час виконання магістерської дисертації, а саме:

- а) прес RP-L023;
- б) сушильна піч ВШ-035;
- в) електронно-променева установка СВ-112.

Гідравлічний прес RP-L023 під час пресування може досягати тиску до 1 ГПа. За такого високого тиску існує можливість розколу прес-форми та нанесення тяжких тілесних ушкоджень. Для унеможливлення отримання травм під час пресування на робочу частину преса накладають та закріплюють металевий кожух. Оскільки прес механічний, для запобігання потрапляння частин волосся чи одягу до рухомих частин варто використовувати спеціальний одяг.

Сушка зразків проводилася у сушильній шафі за температури 100 °С. За даної температури існує ризик отримання серйозних опіків, тому для захисту рук необхідно застосовувати рукавиці згідно з ДСТУ EN 420-2017 [28].

Основними причинами ураження персоналу електричним струмом є доторкання: до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою в робочому режимі; до струмоведучих частин, що випадково опинились під напругою; до неструмоведучих частин, що опинились під напругою внаслідок пошкодження електроізоляції.

Сушильна шафа має електричне живлення від однофазної мережі 220 В. Для створення безпечних умов роботи обладнання заземлено та оснащено спеціальними табличками та попереджувальними написами.

Оскільки електронно-променева установка СВ-112 модифікована захисним склом то дія ультрафіолетового випромінювання зводиться до мінімуму, а захисна колба на гарматі мінімізує ризик потрапляння іонізуючого випромінювання до оператора, також передбачена можливість зробити перерву у роботі оператора установки СВ-112.

Ризик ураження електричним струмом внаслідок роботи електронно-променевої установки СВ-112 також доволі низький за рахунок ізоляції струмоведучих частин, заземлення обладнання, блокування від помилкових дій та застосування спеціальних табличок і попереджувальних написів.

Електричні установки обладнані пристроєм захисного вимикання – високонадійною швидкодіючою системою захисту, яка застосовується в електроустановках, що потребують високого рівня безпеки.

Струмopідвідні кабелі установки ізольовані по всій довжині та захищені від механічних ушкоджень. Електричні установки захищені автоматами зі сторони мережі живлення. Електричні установки, що використовувалися в дисертації, відповідають вимогам ПУЕ-2017 [29].

Весь персонал, що обслуговує спеціальне обладнання періодично проходить інструктаж про безпеку пов'язану з роботою з установками та способи надання першої до медичної допомоги.

4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися під час виготовлення виробів з твердих сплавів типу ВК, належать: пожежа, вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі), розрив або зруйнування обладнання, що може призвести до ураження струмом, тощо.

Оскільки в роботі використовуються негорючі речовини й матеріали, то основним джерелом небезпеки є електричні установки. З метою запобігання виникненню та ліквідації можливих пожеж в лабораторії передбачені вогнегасники типу ОУ-5 та пожежні стенди. Для евакуації персоналу під час виникнення пожежі передбачено план евакуації, який наведено на рисунку 4.1.

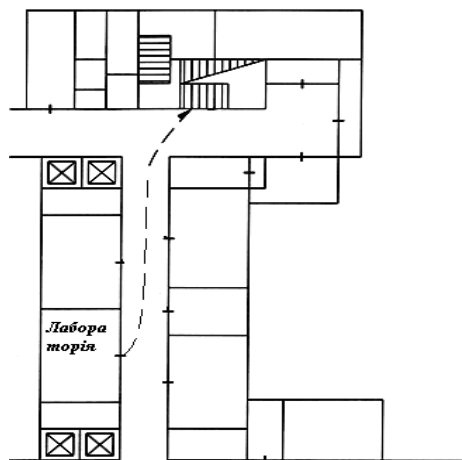


Рисунок 4.1 – План евакуації з приміщення

У випадку загорання установки СВ-112 необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний негайно сповістити про це в пожежну охорону за телефоном 101, викликати відповідальну за лабораторію людину, приступити до гасіння вогню, та у разі отримання травм персоналу, зателефонувати за телефоном 103.

У випадку пробією електричної напруги на корпус установки необхідно відключити рубильник. У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити установку від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

4.4 Висновки за розділом

Детально розглянувши технологічні операції, що були проведені у ході виконання магістерської дисертації, з точки зору охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, можна зробити висновок, що всі технологічні операції відповідають нормам, що встановлені законодавством. Спеціальне обладнання має необхідні захисні деталі та елементи: сталевий кожух, попереджувальні написи, захисне вимкнення та інше. Частина процесів повністю автоматизована. Устаткування виконане з якісних матеріалів. Самі технологічні процеси максимально знижують можливий контакт із небезпечними речовинами. Проаналізовано вимоги безпеки в надзвичайних та аварійних ситуаціях.

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Під час дослідження впливу природи та кількості пластифікатору на формування структури та властивостей твердого сплаву типу ВК виготовленого методом електронно-променевого спікання використовувалося таке електричне обладнання, як сушильна шафа та електронно-променева установка для спікання марки СВ-112.

У даному розділі проведемо розрахунок кількості електроенергії, необхідної для забезпечення роботи цеху.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності у запланованому режимі роботи наведено у формулі:

$$\mathcal{E} = M \times \Phi_0 \times \eta_{\text{зв}} \times K_1 \times K_2, \quad (5.1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, kВт ;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год ;

$\eta_{\text{зв}}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою 5.2:

$$Q = \frac{S \times q \times \tau \times f}{1000}, \quad (5.2)$$

де S – освітлювальна площа, m^2 ;

q – поверхнева щільність теплового потоку, $Вт/м^2$;

τ – число годин горіння на рік, год;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – від 11 $Вт/м^2$ до 15 $Вт/м^2$, для побутових і службових приміщень – 10 $Вт/м^2$.

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення τ приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год, для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7; для підвалів – 0,9.

За формулами (5.1) та (5.2) було проведено розрахунок обсягу витрат електроенергії на обладнання та освітлення виробничих приміщень, результати розрахунків витрат електроенергії зведено в таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік, год	Коефіцієнт завантаженості	Коефіцієнт одночасності	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Сушильна шафа	1	2кВт	1000	0,5	0,6	0,7	1050
Електронний промінь	1	15кВт	740	0,9	0,8	0,7	5595
Усього витрат, кВт·год							6645

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	54	11	2500	0,8	1188
Усього витрат, кВт·год					1188

6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Науково-технічна актуальність магістерської роботи

Розвиток і удосконалювання електронно-променевих технологій призводить до розвитку нових методів виготовлення матеріал з особливими властивостями.

Завдяки впровадженню такої технологічної операції, як електронно-променеве спікання вдалося в рази скоротити час виготовлення твердих сплавів типу ВК, порівняно з традиційним методом виготовлення, та отримати матеріал з покращеними характеристиками.

Проте оскільки дана тема раніше мало досліджувалася, постає багато запитань стосовно використання допоміжних засобів під час формування порошку твердого сплаву, таких як вибір пластифікатору та його кількості. Саме за допомогою пластифікатору можна впливати на структуру вихідного матеріалу.

Тому дослідження впливу природи та кількості пластифікатору на формування структури та властивостей твердого сплаву типу ВК виготовленого методом електронно-променевого спікання є досить важливою темою для розвитку науки та техніки в цілому.

6.2 Мета і завдання дипломної роботи

Метою даної роботи є дослідження впливу природи та кількості пластифікатору на структуру та властивості твердого сплаву типу ВК, отриманого методом електронно-променевого спікання.

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати наступні завдання:

- а) провести аналіз публікацій з теми і обґрунтувати напрями досліджень;
- б) розробити методику проведення дослідження;
- в) дослідити формівність матеріалу;
- г) провести спікання спресованих заготовок;

- д) виготовити шліфи для мікроскопічних досліджень;
- е) дослідити мікроструктуру отриманих зразків;
- ж) дослідити твердість та мікротвердість;
- и) провести рентгеноструктурний аналіз;
- к) обробити отримані дані та узагальнити результати.

6.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Розрахунок витрат на виконання даної роботи дає можливість визначити планову кошторисну вартість. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Запланована собівартість роботи визначається за наступними пунктами витрат:

- а) заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- б) єдиний соціальний внесок;
- в) вартість спеціального обладнання для виконання магістерської дисертації;
- г) вартість матеріалів, необхідних для проведення магістерської дисертації;
- д) витрати на службові відрядження;
- е) інші прямі невраховані витрати по темі;
- ж) накладні витрати.

Під час виконання даної магістерської роботи залучено такі трудові ресурси: відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, який здійснює безпосередній контроль і приймає участь в усіх етапах дослідження, інженер дослідник відповідальний за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів та лаборант приймають участь в дослідженні, до їх обов'язків входить забезпечення технічної бази дослідження, налаштування та

допомога в експлуатації обладнання, попередній аналіз результатів, консультації.

7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Витрати на оплату праці

Витрати за цією статтею включають заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино-днях.

Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок трудомісткості виконання магістерської дисертації

Етапи магістерської дисертації	Трудомісткість людино-днів		
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Інженер- дослідник	Лаборант
Підготовчий етап	8	8	-
Проведення експерименту	15	35	34
Написання записки	6	11	-
Оформлення, перевірка та захист	4	8	-
Разом	33	62	34

Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для магістерської дисертації з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дні).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців.

Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок фонду заробітної плати виконавців теми

Посада	Трудовісткість людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	32	11 627	548,4	17548,8
Інженер-дослідник	62	6000	283	17546,0
Лаборант	34	4373	199,8	6691,2
Разом				41786,0

7.2 Єдиний соціальний внесок

Сума єдиного соціального (B_C) визначаються у відсотках у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22 % загального фонду заробітної плати.

Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$B_C = 41\,786,0 \cdot 0,22 = 9192,92 \text{ грн.}$$

7.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі

Витрати на матеріали, які необхідні для проведення даної магістерської, вираховуються з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 7.3.

Транспортно-заготівельні витрати складають 10 % від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті становлять:

$$B_M (\text{заг}) = 325,7 \cdot 1,1 = 358,27 \text{ грн.}$$

Таблиця 7.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання магістерської дисертації

Найменування матеріалів	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Порошок					
ВК8	ГОСТ 3882-74 [30]	кг	0,2	1100,0	220
Пластифікатори:					
Поліетиленгліколь	CAS 25322-68-3 [31]	кг	0,1	58	5,8
Гумовий глей	ТУ У 30440956-002-2000 [32]	шт	1	11,50	11,50
Синтетичний каучук	-	кг	0,1	46	4,6
Натуральний каучук	-	кг	0,1	130	13
Розчинники					
Бензин	ТУ 38.401-67-108-92 [33]	л	0,5	80,0	40,0
Спирт	ДСТУ 4221:2003 [34]	л	0,1	308,0	30,8
Разом					325,7

7.4 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

В роботі використовуються вже існуюче обладнання: лабораторні терези, гідравлічний прес RP-L023, сушильна шафа, електронно променева установка СВ-112, установка Rigaku Ultima IV, мікротвердомір MHV-2000Z Microhardness Tester.

Спеціальне устаткування для виконання магістерської дисертації не закуповувалось.

7.5 Витрати на службові відрядження

Всі роботи, що стосуються магістерської дисертації, проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», тому витрати на виробничо-наукові відрядження не передбачені.

7.6 Інші прямі невраховані витрати

Даний пункт поєднує в собі всі витрати на проведення магістерської дисертації, що не увійшли до попередніх пунктів, а саме: оплата спеціалістів з інших організацій, оплата консультацій, використання обладнання інших організацій тощо. Під час проведення роботи інші прямі невраховані витрати складають 10 % від суми врахованих витрат на магістерську дисертацію.

$$I_B = (41786,0 + 9\,192,92 + 358,27) \cdot 0,1 = 5133,72 \text{ грн.}$$

7.7 Накладні витрати

До накладних витрат (H_B) відносять:

- а) заробітну плату адміністративно – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;
- б) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;
- в) витрати, що стосуються охорони праці та на техніки безпеки;
- г) утримання та експлуатація виробничих площ, приладів, устаткування та установок;
- д) витрати на охорону;
- ж) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» величина накладних витрат складає 20 % від суми всіх прямих витрат за темою:

$$H_B = (41786,0 + 9192,92 + 358,27 + 5133,72) \cdot 0,20 = 11294,18 \text{ грн.}$$

7.8 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації

Проведені розрахунки дають можливість визначити загальну заплановану кошторисну вартість виконання магістерської дисертації. Плановий кошторис витрат стосовно теми досліджень наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Планова кошторисна вартість ро по темі

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	41786,0	71,67	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	В _С	9192,92	3,56	22% від ЗП
Вартість основних матеріалів	В _М	358,27	0,53	За розрахунками
Вартість спец. обладнання	В _{ОБ}	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	В _{СО}	-	-	Не планується
Інші прямі невраховані витрати	І _В	5133,72	7,57	10% від суми врахованих прямих витрат
Накладні витрати	Н _В	11294,18	16,67	20% від усіх прямих витрат по темі
Разом	В _{ДР}	67765,09	100	Сума всіх попередніх статей

7.9 Економічна ефективність магістерської дисертації

Розрахунок очікуваного економічного ефекту магістерської дисертації необхідний для визначення доцільності проведення даної роботи. Однак, економічний ефект може бути розрахований тільки по магістерським роботам, які безпосередньо націлені на створення нових матеріалів, покращення параметрів та якості продукції, а також створення нових конструкцій тощо.

За основний показник ефективності фундаментальних досліджень беруть науково-технічний ефект. Науково-технічний ефект ($E_{нт}$) пошукових та прикладних досліджень кількісно визначають узагальненим показником, який враховує рівень часткових показників: новизну, перспективність та ступінь реалізованості наслідків дипломної роботи.

Узагальнений показник можна визначити за допомогою оцінок, виражених у балах за формулою:

$$E_{HM} = \sum_{i=1}^3 R_i * Q_i,$$

де R_j – коефіцієнт вагомості новизни (0.4), перспективності (0.2) та реалізованості наслідків наукової роботи (0.4);

Q – новизна, перспективність та реалізованість, бали (таблиця 7.5).

Таблиця 7.5 – Оцінка науково-технічного ефекту магістерської роботи

Показник магістерської роботи	Характеристика результатів	Бали
Новизна	Техніко-економічні показники нової технології на галузевому рівні.	9
Перспективність	Технологія може бути впроваджена у порошковій металургії.	9
Реалізованість	Термін впровадження нової технології.	7

Узагальнений показник:

$$E_{HT} = 9 \cdot 0,4 + 9 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,4 = 8,2 \text{ балів.}$$

Розрахований показник свідчить про доцільність виконання магістерської дисертації за даною темою.

7.10 Висновки за розділом

Обґрунтовано науково-технічну актуальність виконання досліджень стосовно теми магістерської дисертації. Розраховано планово-кошторисну собівартість проведення магістерської дисертації з урахуванням витрат всіх видів ресурсів.

Розраховано показник умовної економічної ефективності проведення роботи.

8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

8.1 Актуальність

В останні роки великого поширення набули стартап-проекти (стартапи). Стартап – це тільки-но створена компанія (можливо, навіть не є ще юридичною особою), яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес або на основі нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які щойно з'явилися. Для стартапу характерні: обмеженість початкових інвестицій; швидкий розвиток; низькі шанси на успіх. Основним документом, що характеризує стартап, є бізнес-план – обов'язковий письмовий документ, що визначає ділові можливості та перспективи подальшого розвитку, а також роз'яснює, як ці можливості можуть бути реалізовані наявною командою.

Для задоволення потреби машинобудування, металообробки та інших галузей де необхідні матеріали для обробки, а також забезпечення економії дорогих і дефіцитних марок сталі, що застосовуються для виготовлення інструменту і деталей машин, необхідно розвивати та впроваджувати нові тверді сплави. Вони можуть забезпечити довговічність та надійність деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації. Розробка та отримання твердих сплавів є дуже важливим завданням.

Останнім часом набуло поширення отримання матеріалів подібних до твердих сплавів методом спрямованої кристалізації, іскро-плазмового спікання та плакування порошків для додавання пластичної зв'язки, для подальшого спікання.

8.2 Мета і завдання стартап-проекту

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді

розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

8.3 Опис ідеї проекту

В межах підпункту слід послідовно проаналізувати певні ідеї, а саме: зміст ідеї (що пропонується), можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування), чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників. Опис ідеї стартапу наведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення виробів на основі порошків твердого сплаву ВК8 методом електронно-променевого спікання.	Виготовлення різців для різальних інструментів. Виготовлення волочильних виробів.	Отримання необхідної форми виробу без додаткових операцій обробки. Екологічна чистота процесу; Зменшення часу виготовлення виробів.

8.4 Технологічна перевірка ідеї проекту

У межах даного підрозділу необхідно провести перевірку технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару, наведеної в таблиці 8.2).

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Отримання виробів з твердого сплаву з ВК8 методом електронно променевого спікання	Електронно променеве спікання	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не створює жодних перешкод, оскільки вона наявна та доступна для реалізації.

8.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Сегмент споживачів: для аналізу попиту на ринку дослідження звужимо до рівня міста Києва.

Ринок споживачів – нішевий (вузький профіль – виробництва, які використовують матеріали з твердого сплаву типу ВК).

Канали збуту: використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

Взаємодія зі споживачами: особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності. Із потенційними споживачами –

підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (20 %). З 25.10.2019 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 15,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Застосування твердих матеріалів.	Виробництва, заводи	Новітня техніка та технології, які застосовуються; Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; Надійність, низька пористість	Якість; Допустима собівартість; Надання чітких гарантій; Швидкість виконання

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають приведено в таблиці 8.4 та 8.5. Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

Таблиця 8.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості обладнання	Втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; Скорочення обсягів виробництва

Таблиця 8.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість вербування високо кваліфікаційних спеціалістів. Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції [35]. Це:

- а) контуренти, що вже є у галузі;
- б) потенційні конкуренти;
- в) наявність товарів-замінників;
- г) постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- д) споживачі.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу – матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, а також сильних і слабких сторін [36] наведено в таблицях 8.6 та 8.7 відповідно.

Таблиця 8.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
Молодий і кваліфікований колектив. Порівняно недорогі початкові матеріали. Широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі. Послуга дешевша наявних на ринку аналогів.	Брак власного устаткування. Додаткові транспортні витрати.

Таблиця 8.7 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (O):	Загрози (T):
Посилення позиції на ринку. Вихід на нові сегменти ринку. Збільшення різноманітності. Підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.	Зростаюче конкурентний тиск. Копіювання конкурентами. Поява нових конкурентів з товарами-замінниками. Захоплені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору під час вибору товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза) [37]-[39].

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод отримання виробів з твердого сплаву дає можливість за мінімальних затрат підприємства виготовляти та випускати високо якісну та дешеву для клієнта продукцію.

8.6 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва; по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- а) проникнення на ринок;
- б) розвиток ринку;

- в) розробка товару;
- г) диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації [40].

Наступним кроком є вибір базової стратегії конкурентної поведінки:

- а) даний проект є «першопрохідцем на ринку»;
- б) компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції, компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів;
- в) компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки;
- г) стратегія конкурентної поведінки – стратегія спеціалізації.

8.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач [41].

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

У таблиці 8.8 визначено ключові переваги концепції потенційного товару

Таблиця 8.8 – Ключові переваги концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Виготовлення жароміцних частин ракет та літаків	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Новий метод який дозволить швидко отримувати вироби готової форми без потреби додаткової обробки.

8.8 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню загалом. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й ввести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

Під час вибору програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами [42]-[45].

8.9 Висновки до розділу

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей. Вироби отримані методи електронно-променевого спікання дозволять значно підвищити міцність та щільність деталей. Також деталі з твердого сплаву, які не потребують додаткової обробки та здатні працювати за високих температур в агресивних середовищах відразу приверне увагу користувачів.

Стартап-проект має переваги над конкурентами, ідея є свіжою і має потенціал для розвитку, подальша імплементація і покращення технології призведе до підвищення рентабельності, що зробить проект більш привабливим для інвестицій.

ВИСНОВКИ

Досліджено вплив природи та кількості пластифікатору на структуру та властивості твердого сплаву ВК8, отриманого електронно-променевим методом.

Було встановлено, що природа пластифікатору та його кількість мають вплив на структуру твердого сплаву ВК8 під час спікання електронним променем в установці СВ-112, зокрема на усунення дефектної η -фази.

У результаті досліджень було встановлено, що використання пластифікатору на основі натурального каучуку дозволяє отримати структуру твердого сплаву ВК8 без дефектної η -фази та пористості, викликані наявністю надлишкового вуглецю.

Середня щільність зрізків – $14,8 \text{ г/см}^3$, твердість зразків – $(90 \pm 1,5) \text{ HRA}$, що відповідає верхній межі теоретичних значень.

Ретгенофазовим аналізом було встановлено відсутність η -фази у зразках, в яких застосовувалися пластифікатори на основі синтетичного та натурального канчуків.

CONCLUSIONS

The influence of the nature and amount of plasticizer on the structure and properties of WC8 hard alloy obtained by electron beam method was investigated.

It was found that the nature of the plasticizer and its amount have an effect on the structure of the WC8 hard alloy during electron sintering in the CB-112 installation, in particular on the elimination of the defective η -phase.

As a result of studies, it was found that the use of a plasticizer based on natural rubber allows to obtain the structure of the solid alloy WC8 without defective η -phase and porosity caused by the presence of excess carbon.

The average density of the samples is 14.8 g / cm^3 , the hardness of the samples is $(90 \pm 1.5) \text{ HRA}$, which corresponds to the upper limit of the theoretical values.

X-ray analysis revealed the absence of η -phase in the samples, which used plasticizers based on synthetic and natural rubber.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Муха И. М. Твердые сплавы в мелкосерийном производстве [Текст] / И. М. Муха. – К. : Наук. думка, 1981. – 168 с.
2. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук [Текст] / А. М. Степанчук. – К. : НТУУ "КПІ", 2006. – 353 с.
3. Курлов А. С. Физика и химия карбидов вольфрама [Текст] / А. С. Курлов, А. И. Гусев. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 272 с.
4. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов [Текст] / М. Г. Лошак. – К. : Наук. думка, 1984. – 328 с.
5. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні [Текст] / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога. – Суми : СумДУ, 2013. – 371 с.
6. Фальковский В. А. Твердые сплавы [Текст] / В. А. Фальковский, Л. И. Клячко. – М. : Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 272 с.
7. Воробьева Г. А. Инструментальные материалы / Г. А. Воробьева, Е. Е. Складнова, А. Ф. Леонов, В. К. Ерофеев. – СПб. : Политехника, 2015. – 268 с.
8. Зубарев Ю. М. Современные инструментальные материалы: Учебник [Текст] / Ю. М. Зубарев – СПб. : «Лань», 2008. – 224 с.
9. Киффер Р. Твердые сплавы [Текст] / Р. Киффер, Ф. Бенезовский. – М. : Металлургия, 1971. – 391 с.
10. Бондаренко В. П. Триботехнические композиты с высоко модульными наполнителями [Текст] / В. П. Бондаренко. – К. : Наукова думка, 1987. – 231 с.
11. Рудской А. И. Волочение : учеб. пособие [Электронный ресурс] / А. И. Рудской, В. А. Лунев, О. П. Шаболдо. – СПб. : Изд-во Политехи, 2011. – 126 с. – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1888622/>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.09.2019.

12. Пономаренко Л. А. Електронно-променеве спікання твердих сплавів [Електронний ресурс] / Л. А. Пономаренко, М. О. Сисоєв, П. І. Лобода // Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 8 : матеріали міжнародної наукової конференції, 6 – 7 грудня 2018 р. м. Київ. – К. : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – С. 74. – Режим доступу : <https://drive.google.com/file/d/1XnF8pHuhfKII-Kkf8kHyxldu7cAQurqg/view>. Назва з екрану. Дата звернення: 02.09.2019.

13. Wright R. N. Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy [Electronic resource] / R. N. Wright. – Butterworth-Heinemann : Elsevier, 2011. – 320 p. – Mode of access: <https://www.twirpx.com/file/626241>. – Title form the screen. – Date of the review: 23.10.2019.

14. Третьяков В. И. Металлокерамические твердые сплавы: физико-химические основы производства, свойства и области применения [Текст] / В. И. Третьяков. – М : Металлургиздат, 1962. – 592 с.

15. Днестровский Н. З. Волочение цветных металлов и сплавов [Текст] / Н. З. Днестровский. – М. : Металлургиздат, 1954. – 271 с.

16. Шабаев М. М. Обзор преимуществ твёрдосплавных фильер для проволочных волочильных станов [Электронный ресурс] / М. М. Шабаев, К. В. Марусич // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: мат. конф.. – Оренбург: ОГУ, 2017. – С. 280-283. – Режим доступа: <http://elibr.osu.ru/handle/123456789/2317>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 08.10.2019.

17. Панов В. С. Роль пластификатора в производстве твёрдых сплавов [Текст] / В. С. Панов, К. Ю. Сердюченко. – М. : Металлургия, 2014. – 55 с.

18. Крыжановский В. К. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов. – М.: Профессия, 2004. – 464 с.

19. Ярушин С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Текст] / С. Г. Ярушин. – М. : Юрайт, 2011. – 564 с.

20. How electron beam melting (ebm) works [Електронний ресурс] / електронне фахове видання; голов. ред. Г. Фріман – Техас : «Thre3D», 2014. – Режим доступу: <https://thre3d.com/how-it-works/powder-bed-fusion/electron-beam-melting-ebm>. – Назва з екрану.

21. Рудской А. И. Волочение : учеб. пособие [Электронный ресурс] / А. И. Рудской, В. А. Лунев, О. П. Шаболдо. – СПб. : Изд-во Политехи, 2011. – 126 с. – Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/1888622/>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.09.2019.

22. Розрахунки та випробування на міцність. Методи механічних випробувань матеріалів. Метод випробування на стиск [Текст] : ГОСТ 25.503-97. – [Чинний від 1998-07-01]. – М. : Комитета стандартизации и метрологии СССР, 1997. – С. 10

23. Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT). Поправка № 1 [Текст] : ДСТУ ISO 6507-1:2007. – [Чинний від 2006-01-01]]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2006. – с. 12.

24. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:2005, IDT) [Текст] : ДСТУ ISO 6508-1:2013. – [Чинний від 2014-01-01]]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2014. – с. 11.

25. Документація. Закон України «Про охорону праці». – [Чинний від 1992-10-14]. – 1992. – (Закони України).

26. Ткачук К. Н. Основи охорони праці [Текст] / К. Н. Ткачук. – К. : Основа, 2006. – 448 с.

27. Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками [Текст] : Z0097-18. – [Чинний від 2017-12-28]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 9 с.

28. Рукавички захисні. Загальні вимоги та методи випробування [Текст] : ДСТУ EN 420:2017. – [Чинний від 2018-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 35 с.

29. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві [Текст] / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров. – К. : Основа, 2014. – 352 с.

30. Сплавы твердые спеченные. Марки [Текст] : ГОСТ 3882-74. – [Чинний від 1976-01-01]. – М. : Комитета стандартизации и метрологии СССР, 1976. – С. 9

31. CAS 25322-68-3 [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/rn/25322-68-3>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 25.11.2019.

32. Клей Гумовий. Технічні Умови. [Текст] : ТУ У 30440956-002-2000. – [Чинний від 15.02.2015]. – «Химик-Плюс», 2015. – 39 с.

33. Бензин-растворитель для резиновой промышленности. Технические условия [Текст] : ТУ 38.401-67-108-92. – [Чинний від 01.07.1992]. – М. : НИИНефтехим, 1992. – 31 с.

34. Спирт етиловий ректифікований [Текст] : ДСТУ 4221:2003. – [Чинний від 2004-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2004. – 28 с.

35. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам [Текст] : ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. – [Чинний від 2009-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2009. – 65 с.

36. Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

37. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1 – 36:2016. – [Чинний від 2017-01-01]. – К : Мінрегіон України, 2016. – 25 с.

38. Безпечність машин. Елементи безпечності систем керування. Загальні принципи проектування [Текст] : ДСТУ EN 954-1:2003. – [Чинний від 2003-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2003. – 22 с.

39. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [Текст] :

ДСТУ 7239:2011. – [Чинний від 2011-06-14]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 45 с.

40. Модель п'яти сил м. Портера [Електронний ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://studfile.net/preview/5705909/page:27>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 26.11.2019.

41. Дизайн. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки [Текст] : ДСТУ 7234:2011. – [Чинний від 2011-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 34 с.

42. Bezrukova T. L. Methodological approach to the identification of predictive models of socio-economic processes for investment and innovative development of enterprises [Text] / T. L. Bezrukova, S. S. Morkovkina, B. B. Russia, I. I. Shanin, E. G. Popkova // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 27, № 11. – С. 1443–1449.

43. Безрукова Т. Л. Современное состояние и развитие стартапов [Текст] / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова //Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95–97.

44. Что такое стартап (реальные примеры) – отличия и инвестиции [Електронний ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://pammtoday.com/chto-takoe-startap.html>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 25.11.2019.

45. Ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки [Текст] : ДСТУ 7235:2011. – [Чинний від 2011-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 35 с.